

# 進化的画像処理を用いた安価で 調整容易な極薄紙の枚数計測

2019年7月11日

岐阜大学 工学部 機械工学科

助教 佐藤惇哉

# 研究背景

- ある高級な脂取り紙の生産会社

- パート従業員による手作業

- ◆パッケージングのための枚数計測

- ◆品質管理

- 手作業による問題

- 人件費

- 接触による皺やゴミの付着



<http://furuyagami.jp/story4.html>

非接触な枚数計測システムが必要

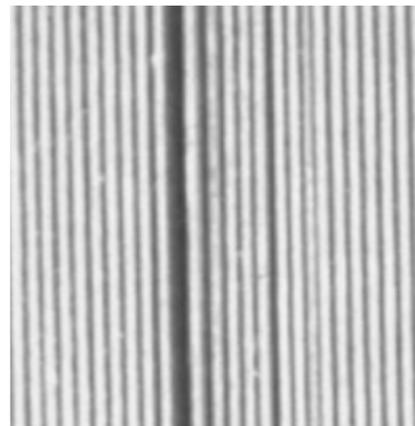
# 従来技術(1)

## ●Zhuらの手法

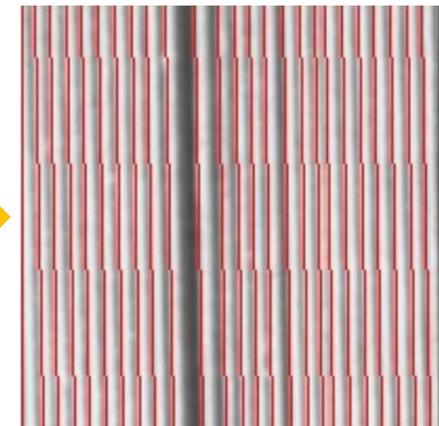
- 積み重ねられた包装紙を2台のカメラで撮影
- 画像処理による直線検出で枚数計測



開発された撮影システム



撮影画像



直線検出

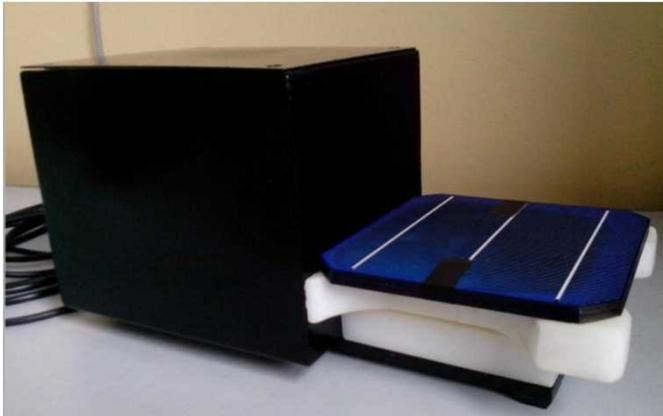
H. Zhu, *et al.*, "An Apparatus and Method for Stacked Sheet Counting with Camera Array," Proc. Chinese Automation Congress, pp.7–10, 2013 3

# 従来技術(2)

## ●Wangらの手法

■シリコンウェーハのカウント

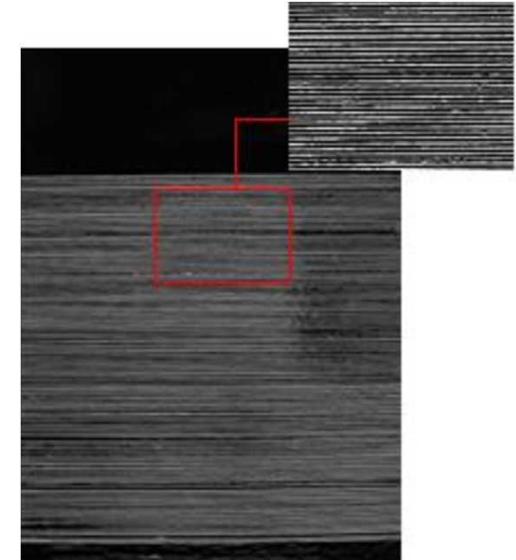
■画像処理による直線検出でカウント



撮影装置とシリコンウェーハ



撮影装置の中



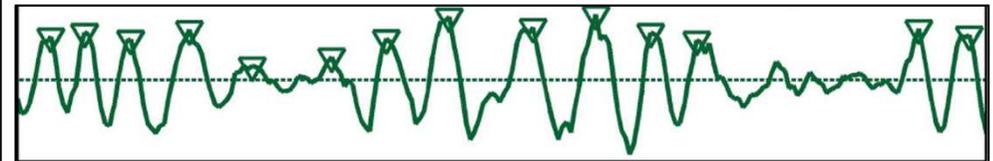
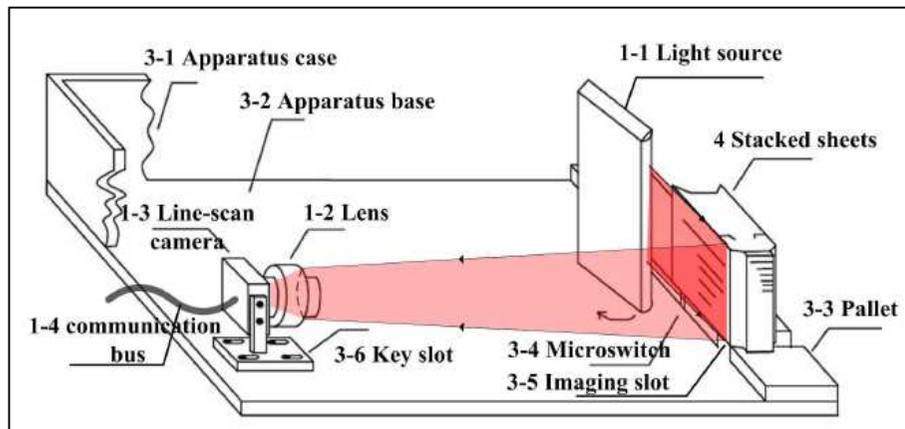
撮影画像

N. Wang, *et al.*, "Development of a Machine Vision System for Solar Wafer Counting," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Compute Science, vol.12, no.5, pp. 3737-3744, 2014

# 従来技術(3)

## ●Chenらの手法

- 積み重ねられた紙をラインスキャンカメラで撮影
- 信号処理のアプローチで紙の枚数を計測



ピーク検出による枚数計測

T. Chen, *et al.*, "An apparatus and method for real-time stacked sheets counting with line-scan cameras," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol.64, no.7, pp.1876–1884, 2015

# 関連研究の問題

## ● 処理アルゴリズム

### ■ 複数の固定パラメータを設定

- ◆ 事前にユーザによるパラメータ調整が必要
- ◆ 紙の種類や明るさの変化への対応が困難

## ● 提案手法のアプローチ

### ■ AIの導入で人の介在を不要に

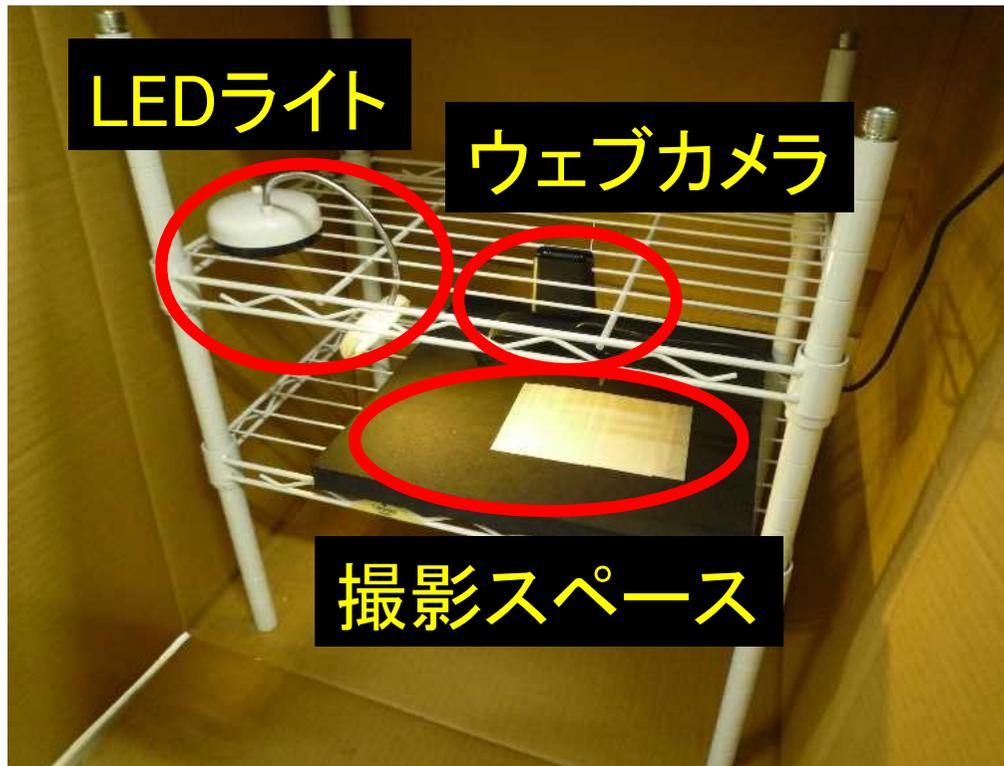
### ■ 家電量販店で購入できるウェブカメラを使用

### ■ 従来手法より高性能なアルゴリズム

安価なカメラでも撮影環境の変化に柔軟に対応可能な  
画像処理アルゴリズムが必要

# 撮影システムの試作機

- 段ボールで外部照明を遮断
  - 外乱によるノイズの抑制
  - 外部照明は明るすぎて境界線の撮影が困難



脂取り紙を撮影した画像例

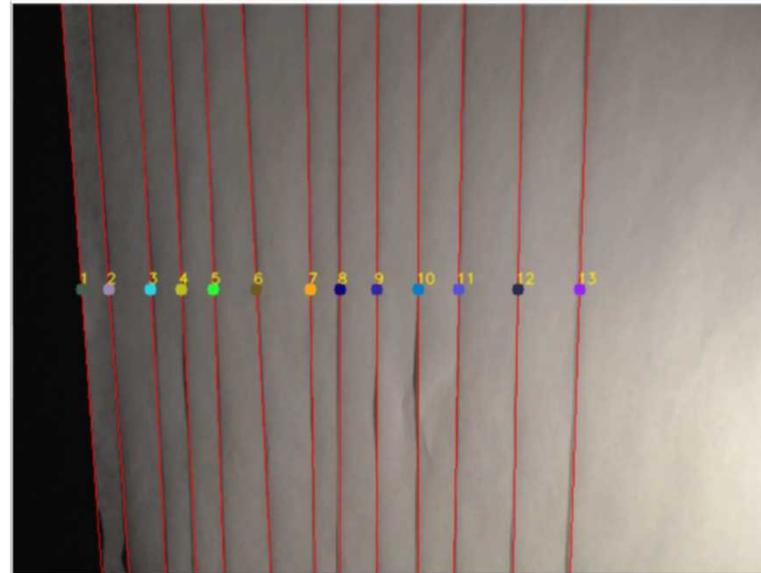
# 脂取り紙の配置と撮影

- 紙が重ならないように配置して撮影
  - 試作機のため手作業で配置
    - ◆ 将来的には配置を自動化
- 様々な並べ方で撮影
  - 提案手法の汎用性を調査する目的



# 枚数計測のための画像処理

- 基本的なアイデア
  - 紙の境界線の検出
  - 境界線を画像から正確に抽出
    - ◆ 正確な枚数計測が可能



# 解決すべき課題

- 境界線取得に必要な画像処理

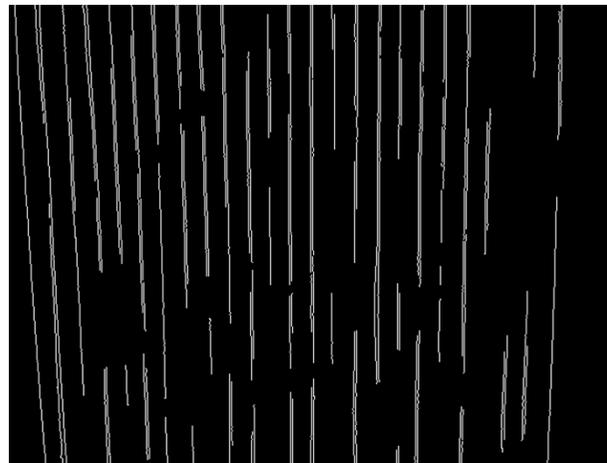
デモ

- 境界線のエッジ抽出と直線検出

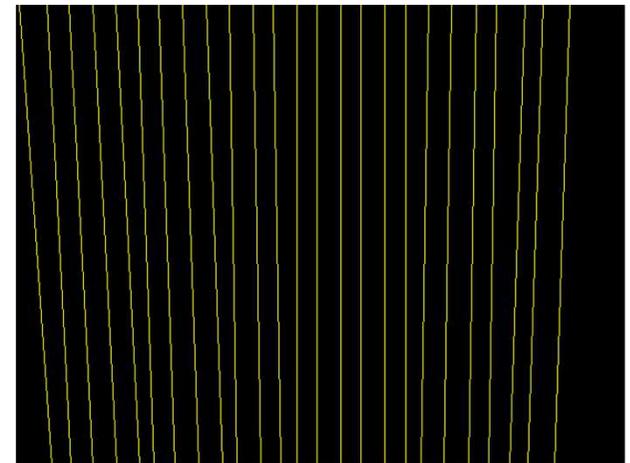
ユーザによる事前のパラメータ調整が必要



対象画像



エッジ抽出結果



直線検出結果

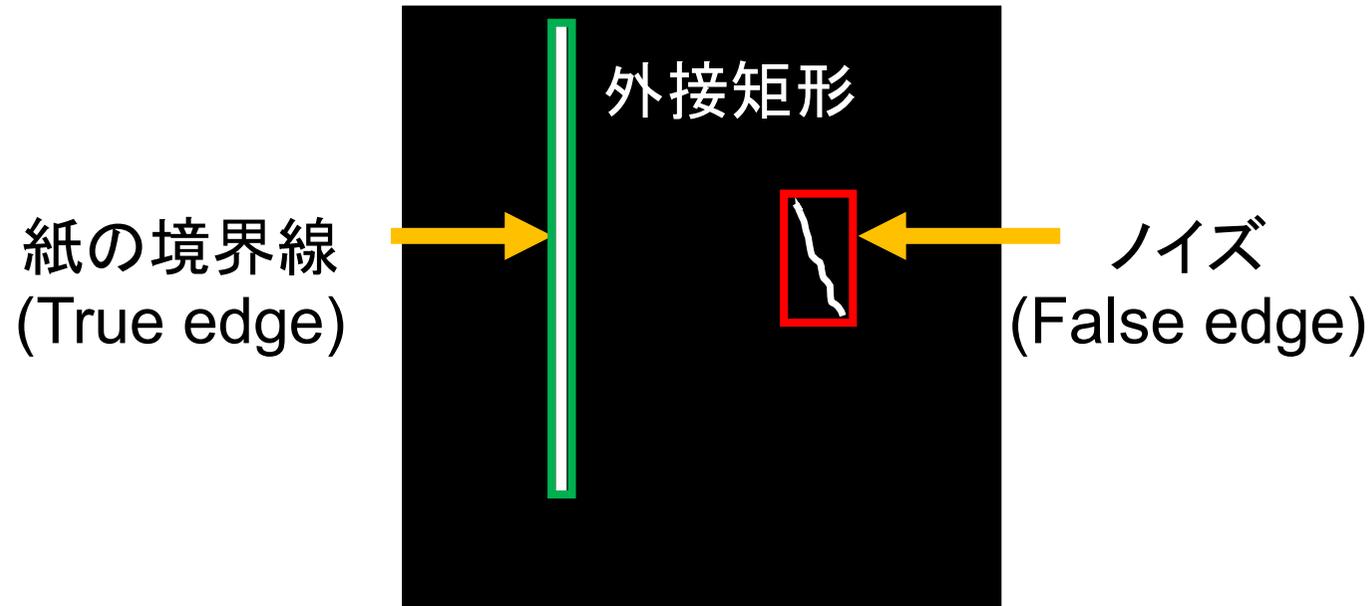
自動でパラメータ調整可能な手法を提案

# 提案手法

- 遺伝的アルゴリズム (GA) を使用
  - 進化計算手法のひとつ
- GA の利点と特長
  - 複数のパラメータを並列的に最適化可能
    - ◆ 効率的なパラメータ探索が可能
  - パラメータの最適化に微分情報は不要
    - ◆ あらゆる目的関数に適用可能

J. Sato, *et al.*, “Basic Study on Facial Oil Blotting Paper Counting”,  
Proc. MECHATRONICS, pp. 65-70, 2018

# 適応度(目的)関数の設計



画像処理によるエッジ抽出結果の例

のアスペクト比 > のアスペクト比

# 適応度(目的)関数

抽出されたエッジの総数

$$f = \sum_{i=0}^{E-1} a \times \text{aspect}_i$$

↑  
適応度

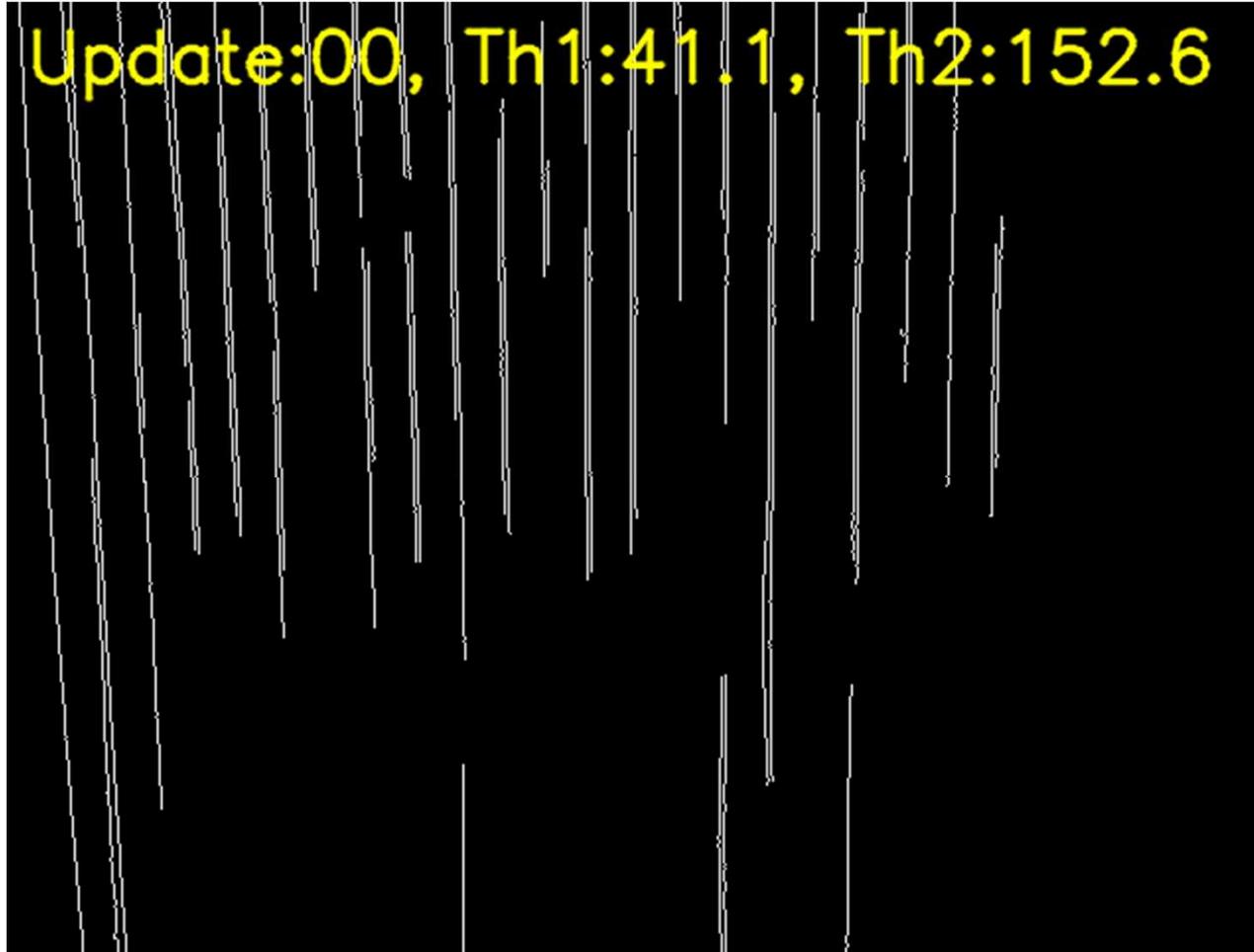
↓  
外接矩形の面積

$$a = \begin{cases} 1 & (\text{if } \text{aspect}_i > 10 \cap s > 50) \\ -1 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

← 報酬  
← 罰

適応度の最大化 = 紙の境界線を抽出できる2つの  
閾値の自動決定が可能

# GAによるパラメータ調整の様子



# エッジ画像からの直線検出

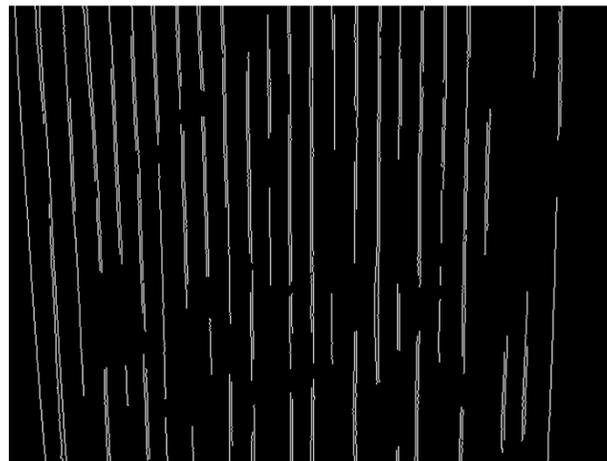
- 直線検出の基礎的手法

- ハフ変換

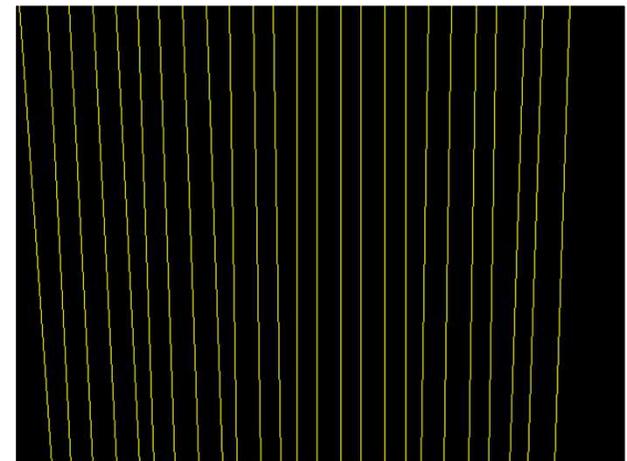
- ◆ 途切れた不完全なエッジでも直線検出が可能



対象画像

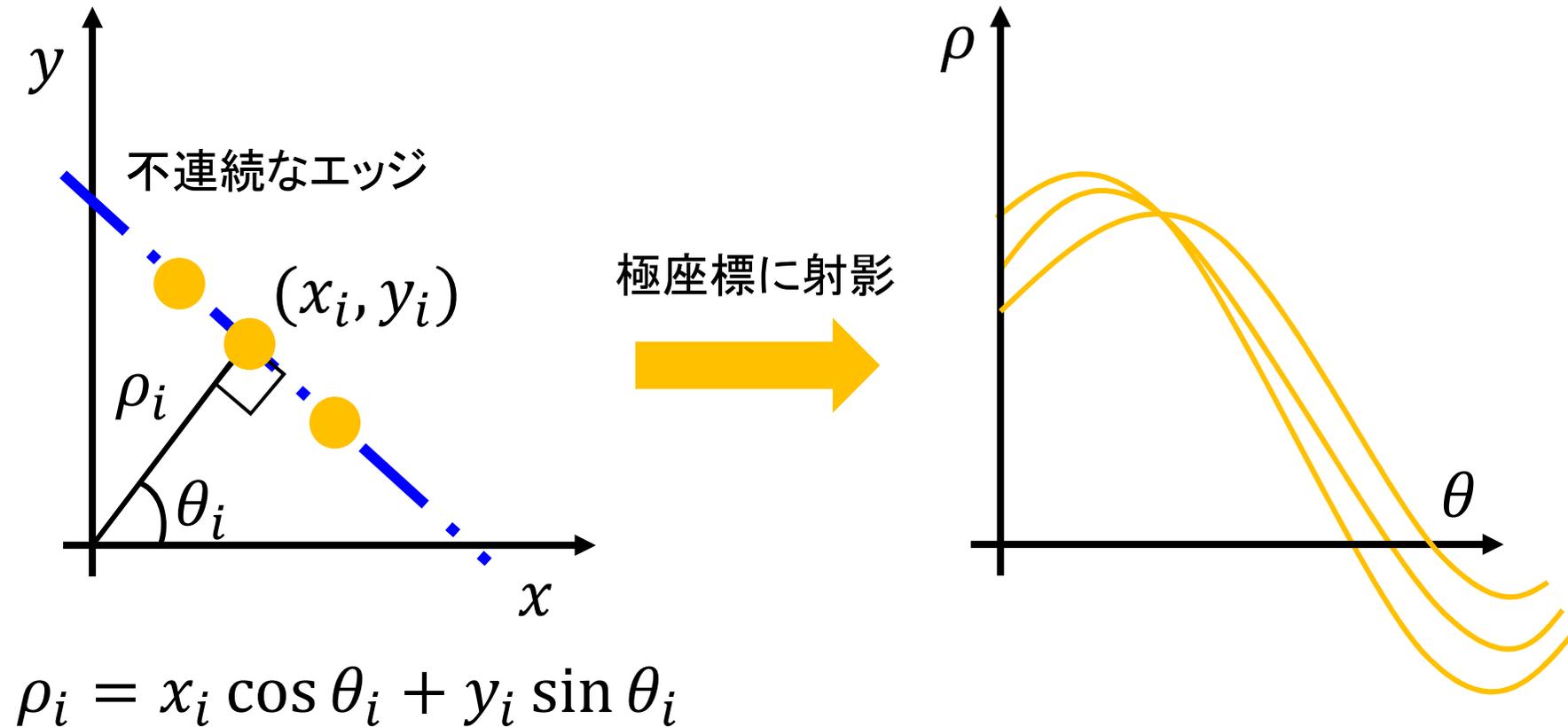


エッジ抽出結果



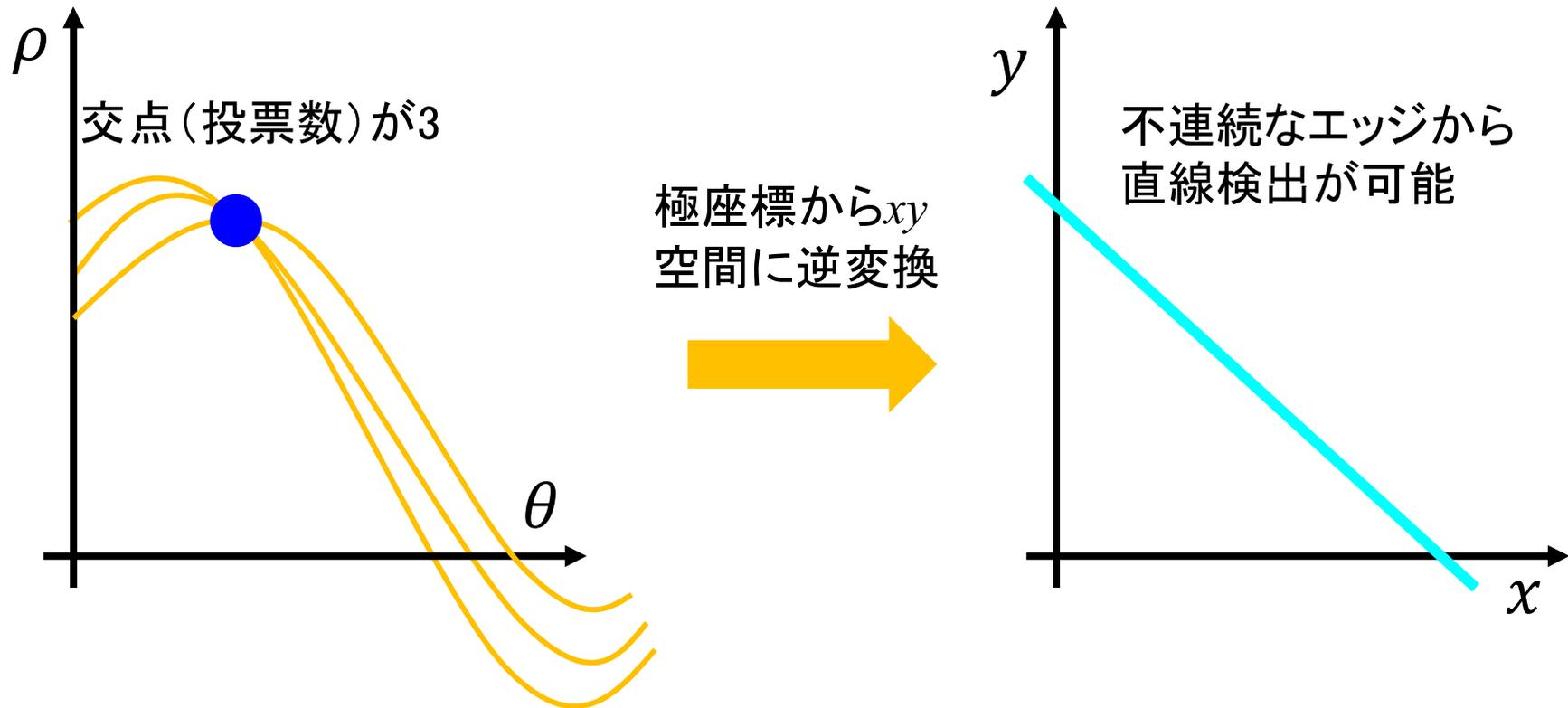
直線検出結果

# ハフ変換の概要



全てのエッジ画素を射影する

# 投票に基づく直線検出

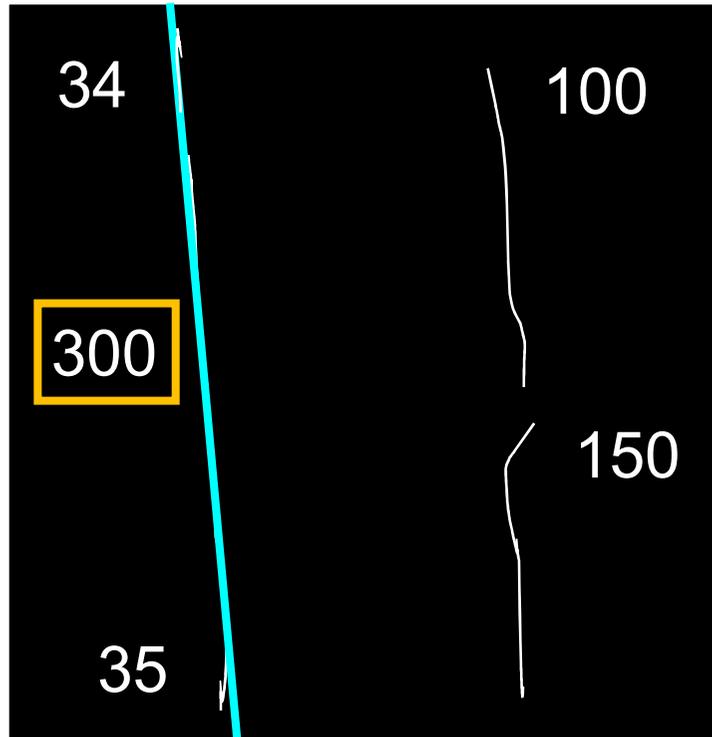


もし投票閾値が4のとき  
検出される直線は無し

もし投票閾値が2のとき  
1直線が該当

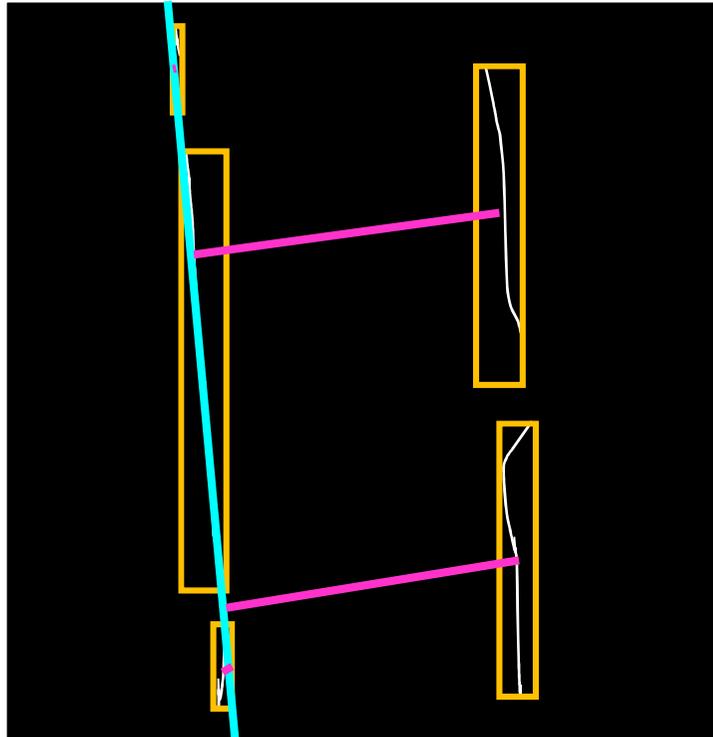
**ハフ変換の問題点:  
投票閾値をどのように自動化?**

# 閾値無しハフ変換の概要



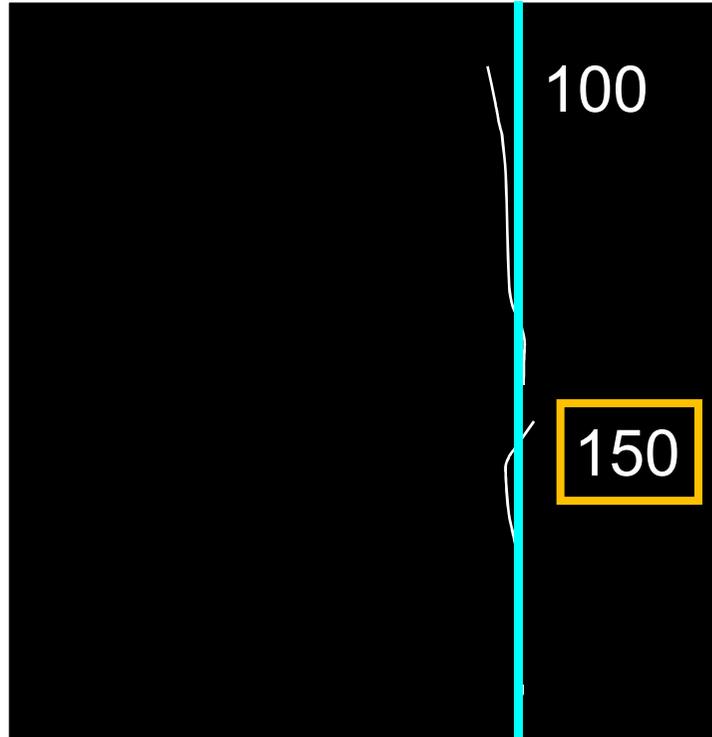
1. ハフ変換の適用
2. 最大投票値を取得
3. 最大投票値に対応する直線を取得

# 閾値無しハフ変換の概要



4. 外接矩形の設定
5. 取得した直線と各外接矩形への距離を計算
6. 距離が15画素未満のエッジを除去

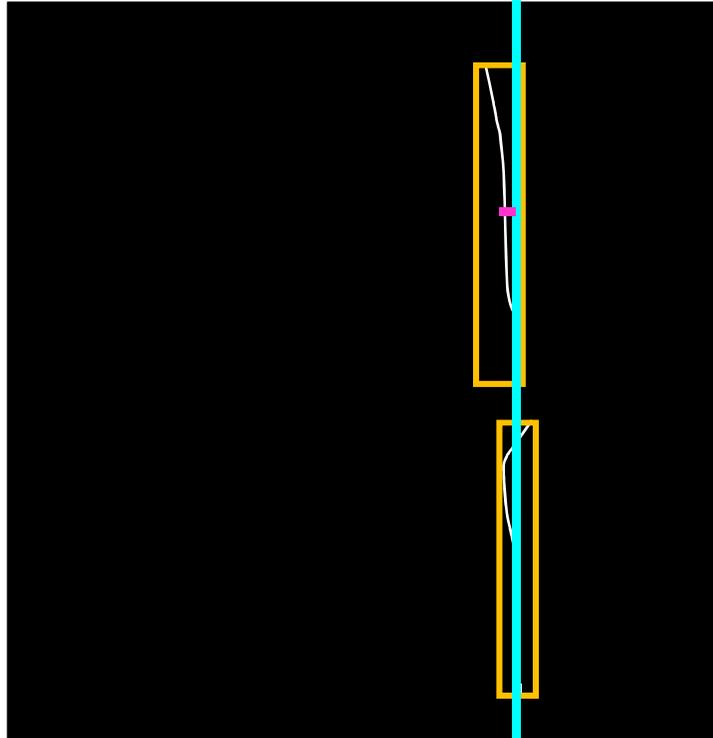
# 閾値無しハフ変換の概要



4. 外接矩形の設定
5. 取得した直線と各外接矩形への距離を計算
6. 距離が15画素未満のエッジを除去

全てのエッジが無くなるまで繰り返し

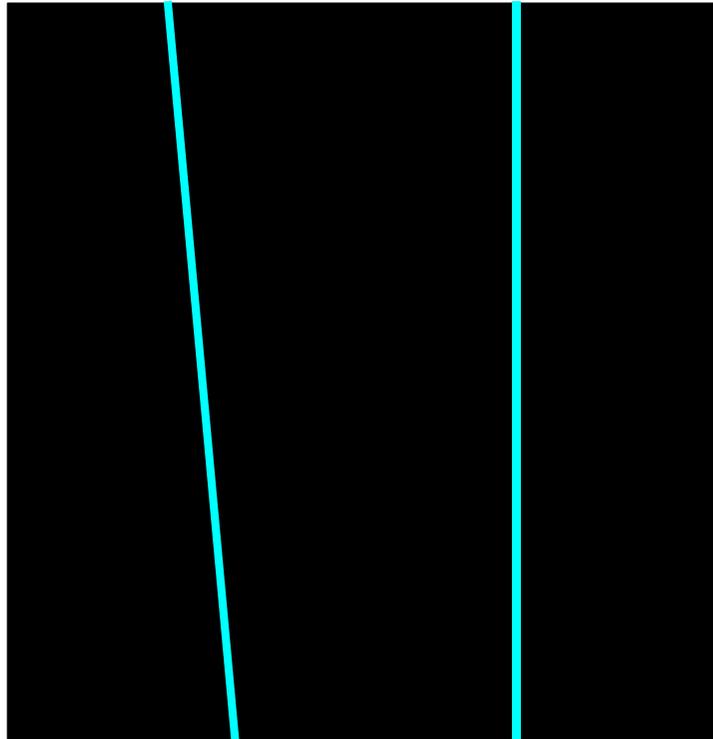
# 閾値無しハフ変換の概要



4. 外接矩形の設定
5. 取得した直線と各外接矩形への距離を計算
6. 距離が15画素未満のエッジを除去

全てのエッジが無くなるまで繰り返し

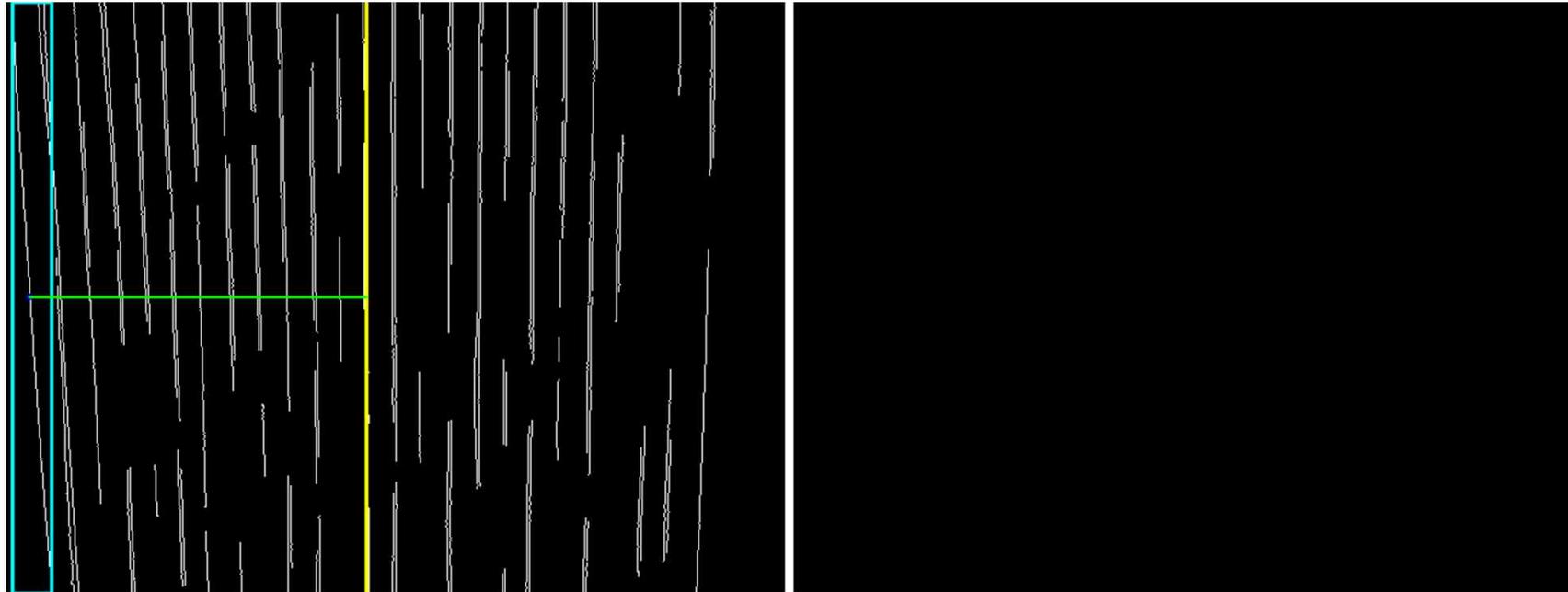
# 閾値無しハフ変換の概要



4. 外接矩形の設定
5. 取得した直線と各外接矩形への距離を計算
6. 距離が15画素未満のエッジを除去

投票閾値無しで直線検出が可能

# 直線検出の様子



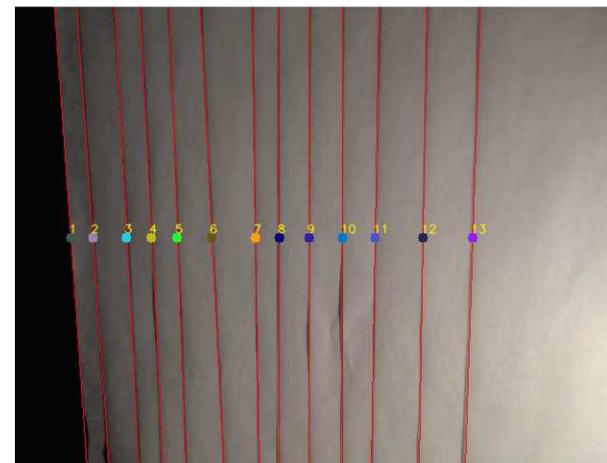
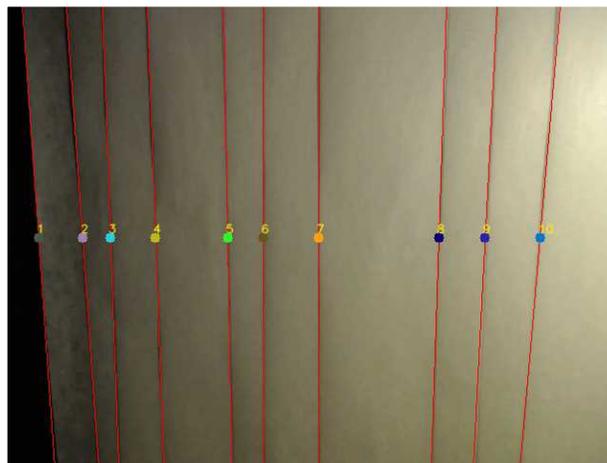
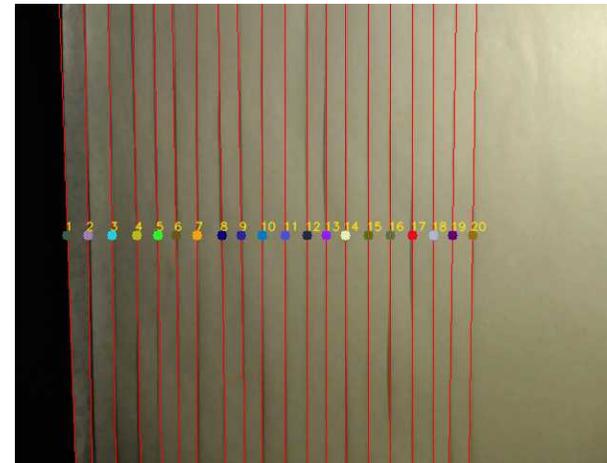
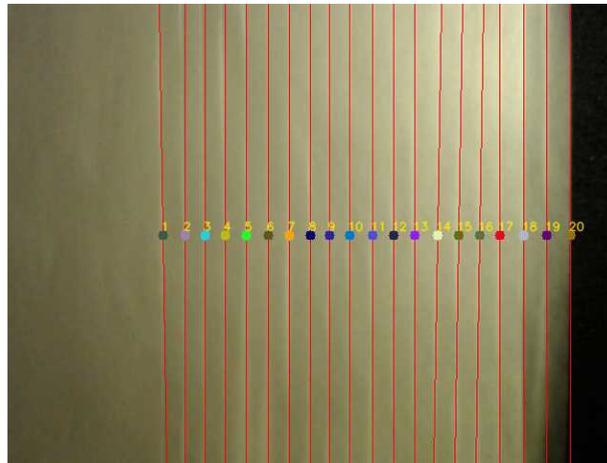
提案手法による直線検出とエッジ  
除去の様子

検出された直線

閾値設定無しでも直線の検出が可能

# 実験結果

	提案手法	Chenらの手法
F値	0.995	0.945
平均時間 (ms)	3520	0.04



# 提案手法のまとめ

- ウェブカメラ＋画像処理で紙の枚数計測
  - 画像処理パラメータはAIで自動化
    - ◆ 明るさや並べ方の変化に対応可能
    - ◆ 人の介在が不要
    - ◆ 固定閾値を使用する他手法より高精度
  - 高解像度なカメラの使用
    - ◆ z軸方向に積み上げられた紙の枚数計測が可能
  - 結局は境界線を検出する手法
    - ◆ 境界線が表れる物なら何でも計測可能

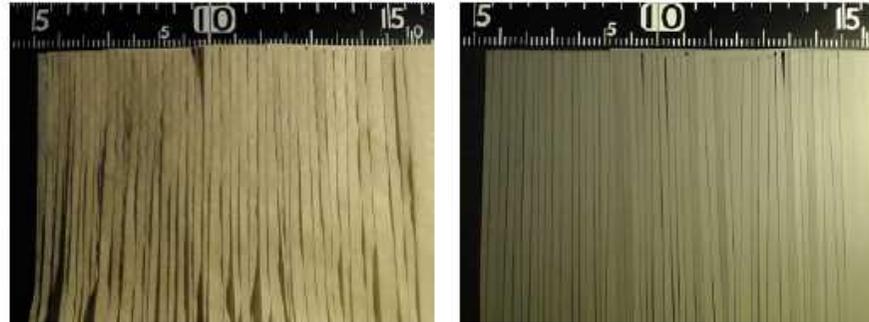
# 提案手法の改良（最新版）

## ● 具体的内容

- 実験に使用する脂取り紙の種類を6種類へ
  - ◆ 材質と見た目の変化に対応可能か調査
- 処理時間の短縮
  - ◆ 画像サイズを縮小＋アルゴリズムの並列化
- 紙に表れる影による誤検出の抑制

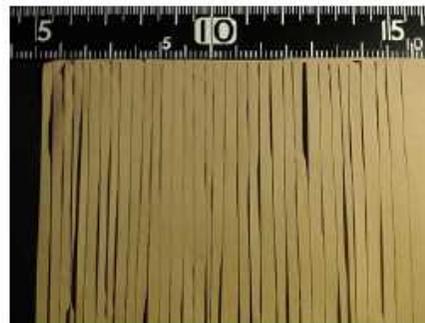
J. Sato, *et al.*, “Vision-based Facial Oil Blotting Paper Counting”,  
IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering,  
vol.14, no.6, pp.899-907, 2019

# 対象とした脂取り紙と撮影画像



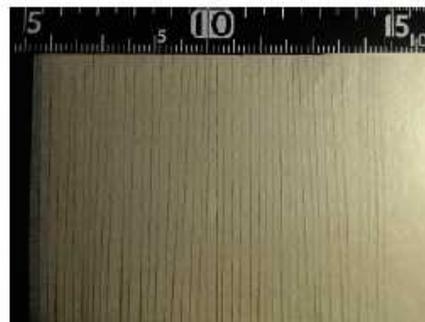
(a)

(b)



(c)

(d)

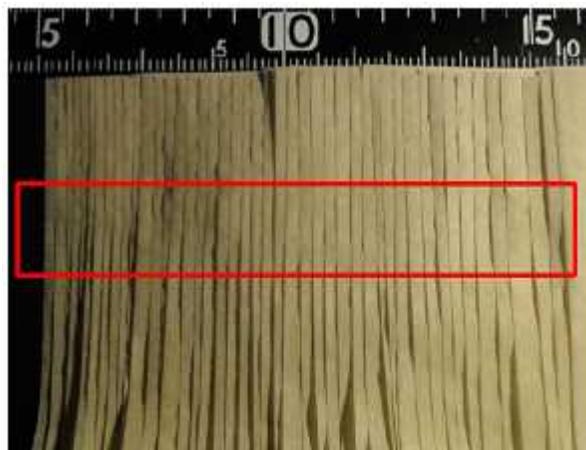


(e)

(f)

# 処理時間短縮と誤検出抑制

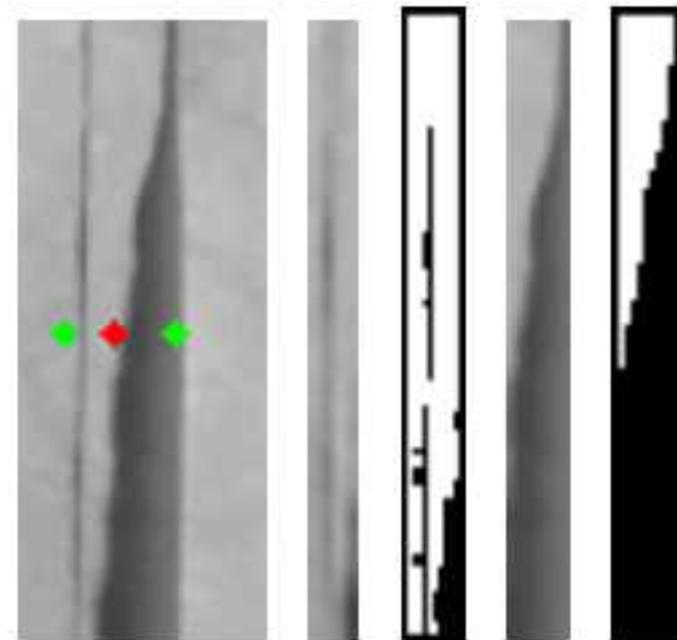
- $640 \times 480$ から $611 \times 100$ を切り取って使用
- アルゴリズムの並列化
- 影による誤検出の抑制



(a)



(b)



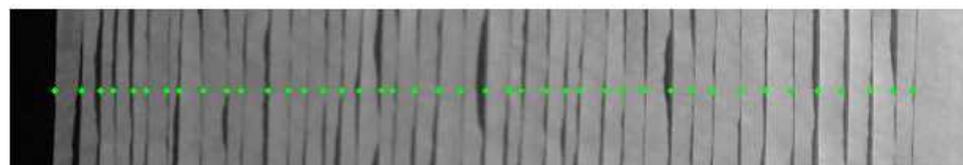
# 実験結果

- さらなる精度向上と高速化を達成

	最新の提案手法	以前の提案手法	Chenらの手法
平均F値	0.990	0.963	0.962

手法の種類	平均時間(ms)
最新の提案手法	269.5
以前の提案手法	2612.8
以前の提案手法＋並列化	1420.1
Chenらの手法	0.2
Chenらの手法＋並列化	5.8

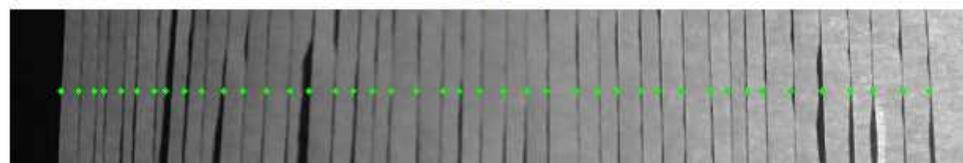
# 検出結果例



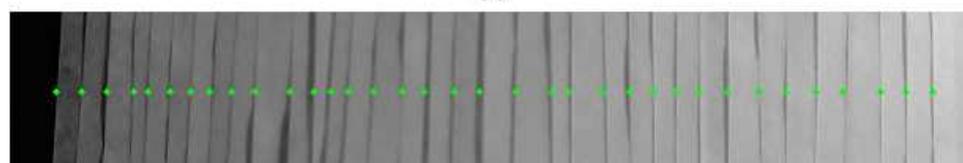
(a)



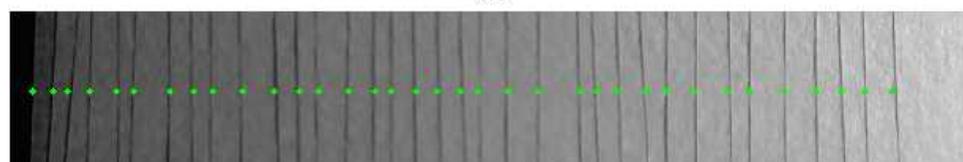
(b)



(c)



(d)



(e)



# 実用化に向けた課題

- ライン(実環境)への組み込みが未実施
  - 実用化に必要な機材や装置の選定が必要
  - 画像処理アルゴリズムの改善も必要

より実用的な環境での実証実験が必要

# 開発技術の汎用性や発展性

- 本技術は線らしいものを数える技術
  - 脂取り紙以外の物体に対応可能
  - 例
    - ◆ 印刷用紙, お札, 本棚の本, 薬
    - ◆ (JSTイノベーションジャパンにて): 鉄板, 髪の毛
- AIによる複数パラメータの最適化技術
  - 様々な問題に適用可能
    - ◆ 最適な部品配置決定
    - ◆ 作業従事者の動線デザイン等

ものづくりの  
生産性向上

# 開発技術の具体的な適用可能性

- 商品の箱詰めレイアウト生成
  - 可能な限り隙間なく商品を積むには？
    - ◆ ロボットと組み合わせて自動化可能
- 配達物の配送計画表の自動生成
- 家の間取りや家具の最適な配置決定
  - 人や障がい者の暮らしを支える技術
- 最適な勤務表や時間割生成
- 商品デザイン
  - 見た目の美しさと機能性の折衷案自動取得

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：画像解析プログラム
- 発明者：佐藤惇哉、山田貴孝、小出トオル
- 出願人：国立大学法人岐阜大学
- 出願番号：特願2018-075772

# お問い合わせ先

- 岐阜大学
  - 研究推進・社会連携機構 神谷 英昭
- TEL: 058-293-3182
- FAX: 058-293-3346
- E-mail: [h\\_kamiya@gifu-u.ac.jp](mailto:h_kamiya@gifu-u.ac.jp)