

# 高精度センサーを用いたエレベーターの 定期検査に係る技術開発成果報告

2021年11月24日  
東京製綱株式会社

# 目次

---

1. はじめに

2. 画像処理によるワイヤロープの寸法の評価方法の開発

3. 画像処理によるワイヤロープの損傷状況の評価方法の開発

4. 磁気センサーアレイを用いた非接触式漏洩磁束法の開発

5. 画像・磁気のハイブリッド型センサーの開発と評価

## 1-1. はじめに

---

本件は、  
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発  
機構からの委託による  
「規制の精緻化に向けたデジタル技術の開発／高精度  
センサーを用いたエレベーターの定期検査に係る技術  
開発」  
における2020年度の成果について纏めたものである。

# 開発の背景

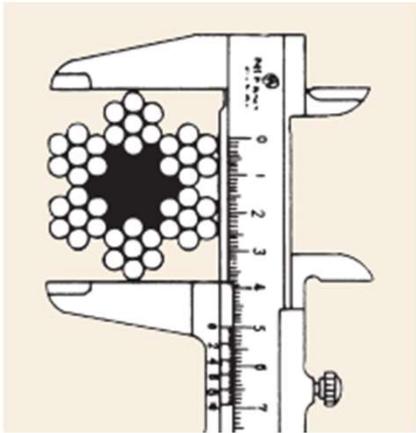
- 建築基準法第12条第3項の規定に基づき、エレベーターの所有者は**経年劣化などの状況を検査、報告**することが義務付けられている。
- 同法施行規則第6条及びこれに基づく平成20年国土交通省告示第283号により、エレベーターのロープ等の劣化状況についてはおおむね**1年に1回、目視や寸法測定**により検査とされている。

# 開発の背景

- エレベーターのロープ等の劣化状況についての検査は、かごを**少しずつ動かしながら目視や寸法測定**を行っており、危険を伴う上、時間を要する作業となっている。
- 現在センサーを活用した検査も一部で導入されているが、ロープを接触させる構造であるため、**低速運転の状況下**でなければ活用できず、検査に時間を要することやセンサーに接する側の**ロープの半面しか診断**できないといった課題がある。
- また、「**錆び**」の程度を**診断できず**、既存のセンサーを目視や寸法測定の代替手段とすることができない。

## 1-2. 開発の目的

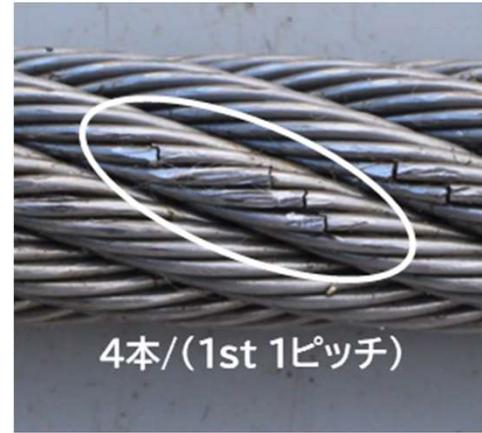
現在、目視中心で行われているエレベータロープの検査項目について、非接触で目視と同等の検査を可能とするセンサを開発する



ロープ径



赤さび



断線



摩耗痕

磁気だけ、画像だけでは出来ないものは、併用する

## 1-3. 開発内容

### (1)画像処理によるワイヤロープの寸法、損傷状況の評価方法の開発

- ①. 画像処理による寸法評価
- ②. 画像処理による損傷状況の評価

### (2)磁気センサーアレイを用いた非接触式漏洩磁束法の開発

### (3)画像・磁気のハイブリッド型センサーの開発と評価

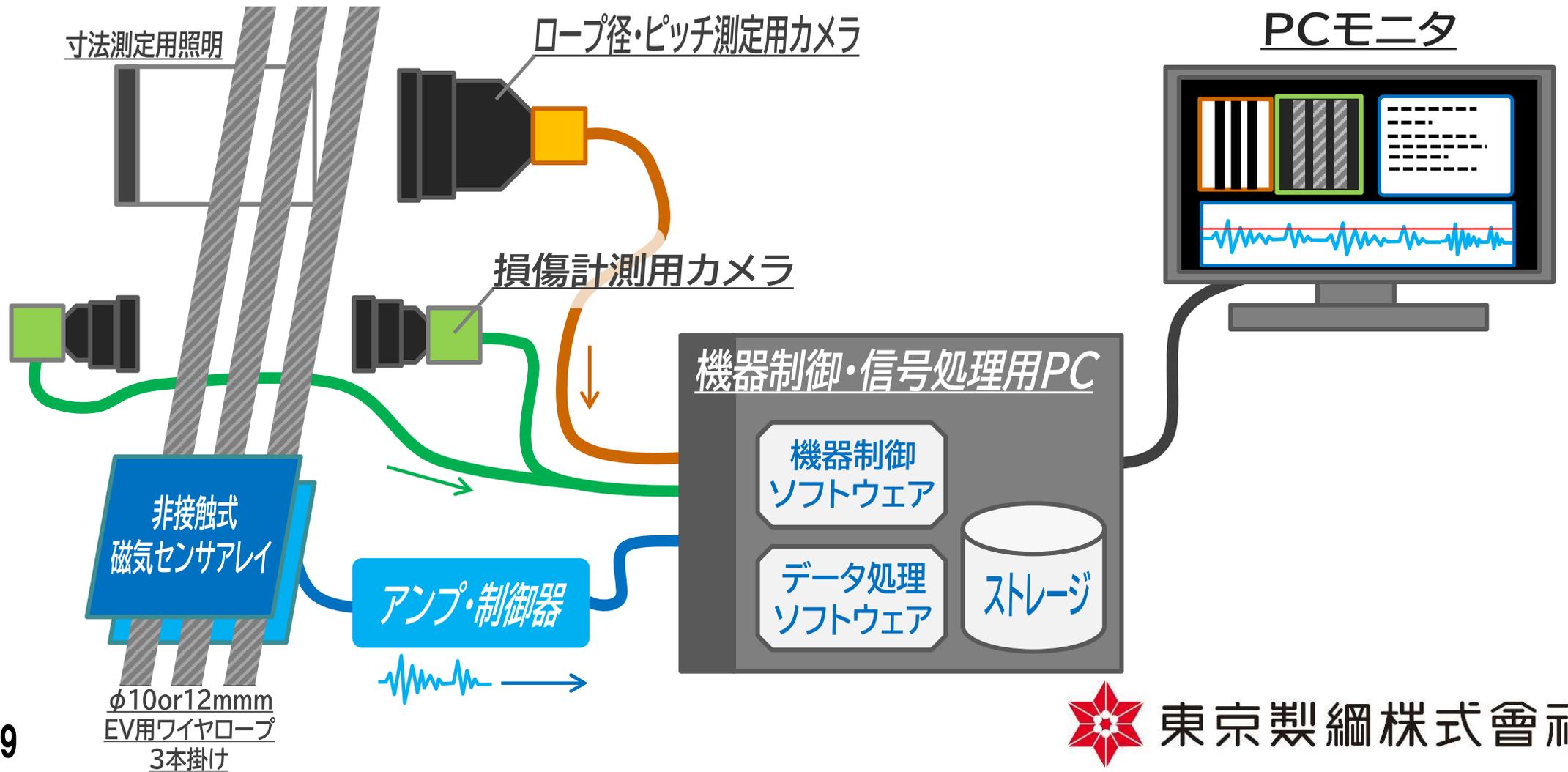
# 1-3. 開発内容

## 磁気・画像併用(ハイブリッド)型ロープテスト概略

検査項目		センサタイプ			東京製綱式 ハイブリッド型 ロープテスト	備考
		① 磁気(非接触)	② 画像 (寸法測定用)	③ 画像 (表面損傷用)		
ロープ寸法	径	—	○	—	○	センサ範囲内全長
	ピッチ	—	○	—	○	センサ範囲内全長
素線断線	表面(山)	○	—	○※	○	※画像で本数を確認する
	内部(谷)	○	—	—	○	
	(磁性体付着物)	※	—	※	○※	※磁気・画像併用で区別が可能
腐食	赤さび	—	—	○	○	
	表面さび	—	—	○	○	
摩耗痕長さ		—	—	○	○	
著しい損傷	表面キズ	○	—	○	○	
	キンク	○	△※	△※	○	※高張力時は難しい

# 1-3. 開発内容

## 非接触式ハイブリッド型センサーのイメージ図



## 1-4. 開発目標

### (1) ロープ径

10mmまたは12mmのワイヤロープを対象  
(一部、16mmで実験)

### (2) ロープ速度

200m/min.程度

### (3) ロープ表面状況

グリースが少ない状態で、断線、著しい腐食を検出

### (4) 測定方法

磁気及び画像を用いて、センサーはロープと非接触

## 2-1.画像計測システムの概要

### (1)撮影システム

(カメラ・レンズ・照明ユニット)

#### ➤ カメラ

- モノクログローバルシャッター方式

#### ➤ テレセントリックレンズ

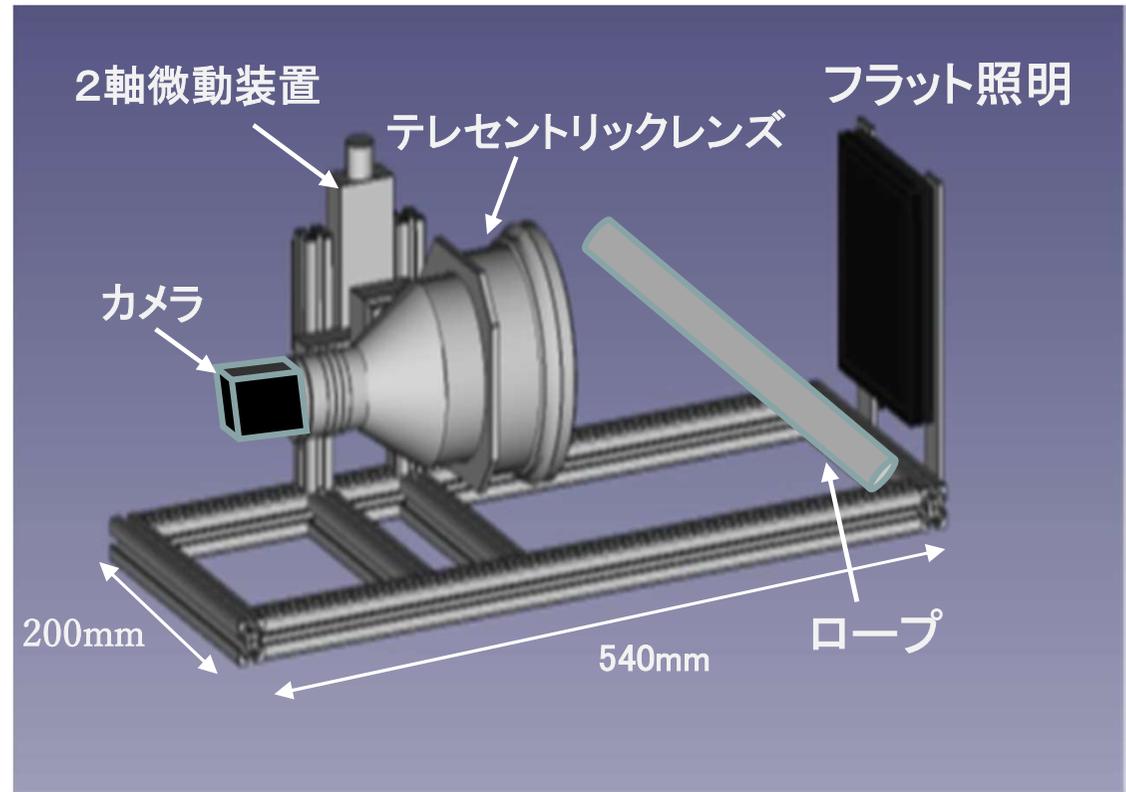
- 視野: 約 49mm X 37mm

#### ➤ フラット照明

- 発光面寸法 100mm × 100mm
- 高指向性タイプ

### (2)計測用PC

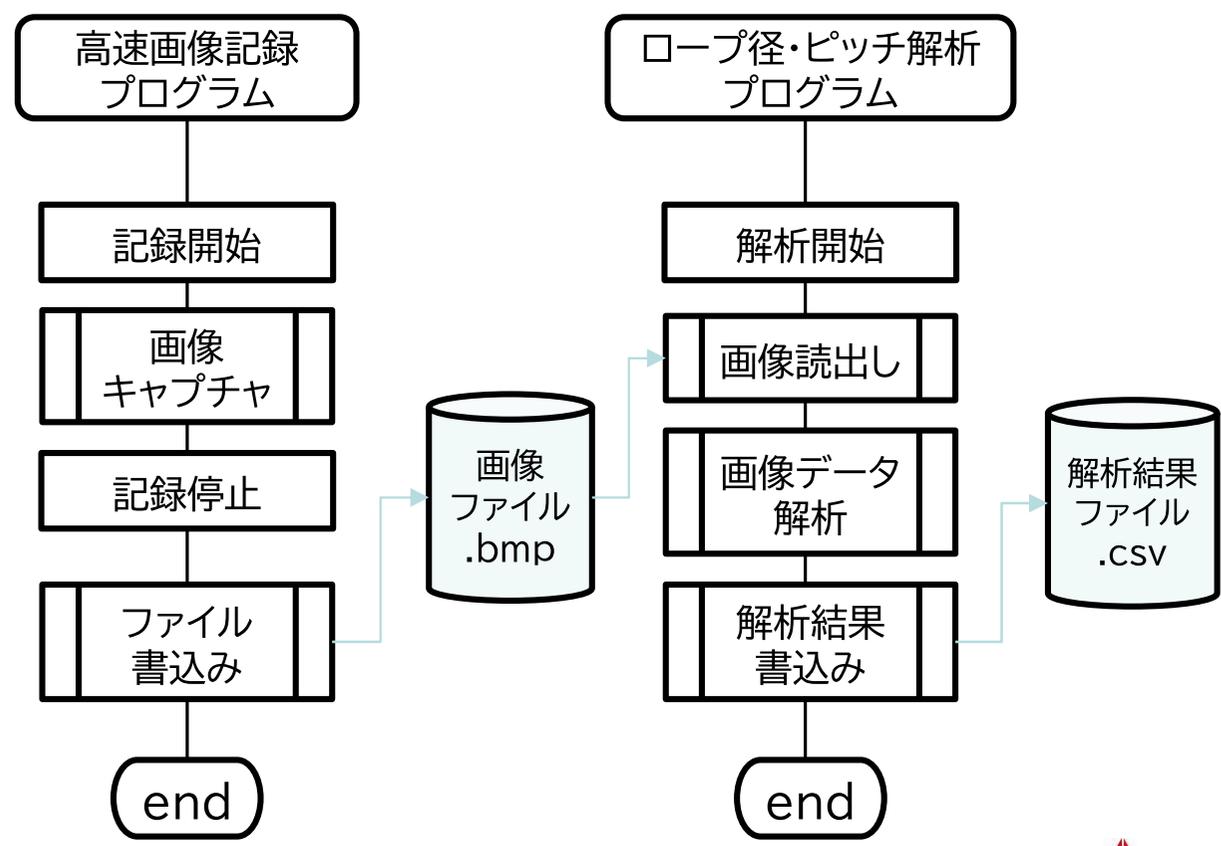
(ノートタイプPC)



# 2-1.画像計測システムの概要

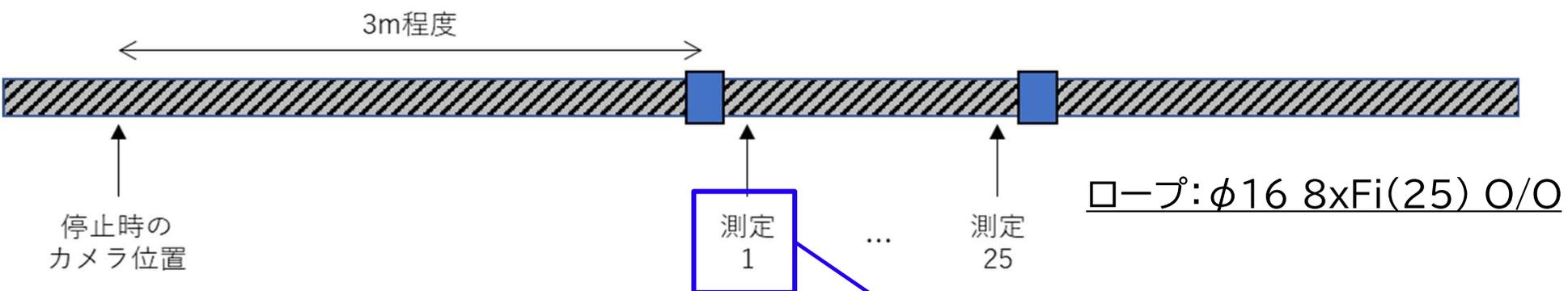
## (3)ワイヤロープ径・ピッチ計測プログラム

「高速画像記録プログラム」と「ロープ径・ピッチ解析プログラム」の2種類のプログラムを組合せる



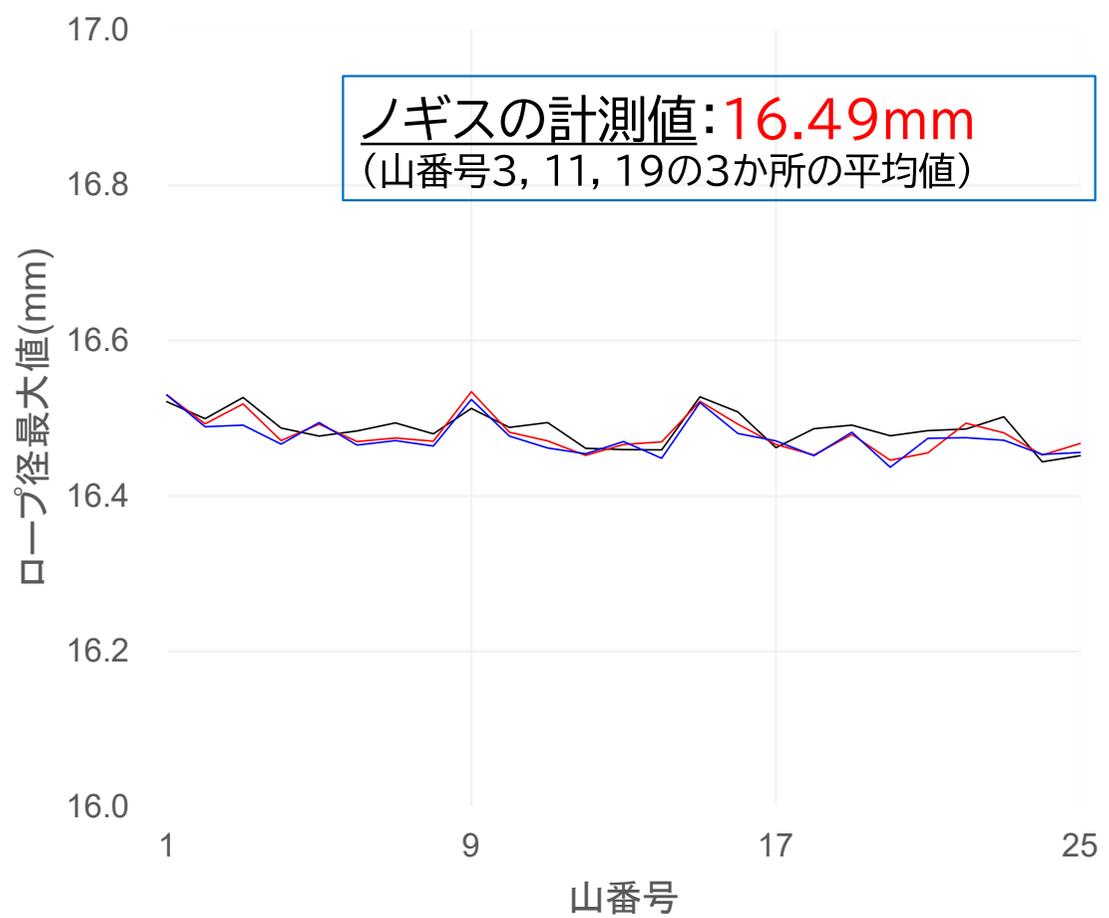
ワイヤロープ径・ピッチ計測プログラム

# 2-2.画像計測方法



ロープ線速150m/min (露光時間200μsec、500fps)

# 2-3. 画像計測結果



- ①150m/min N=3で径の計測値の差異は最大で0.041mm
- ②ロープ径平均値は16.48mm

— 150m-1  
— 150m-2  
— 150m-3

ロープマーキング間のロープ径計測結果

## 2-3. 画像計測結果

### <まとめ>

- (1)開発した画像計測システムを使用して、線速150m/min で移動するワイヤロープについて連続的に撮影・記録ができた
- (2)開発した解析プログラムを使用して、撮影された画像から、ロープ径を測定できることが確認できた

## 2-4. 実環境での評価

### <課題>

- ①一度に複数本のロープを計測可能
- ②実際のエレベーター使用環境での計測が可能

### <実施事項>

#### EV塔での試験を実施

- 3本掛け
- 120m/分

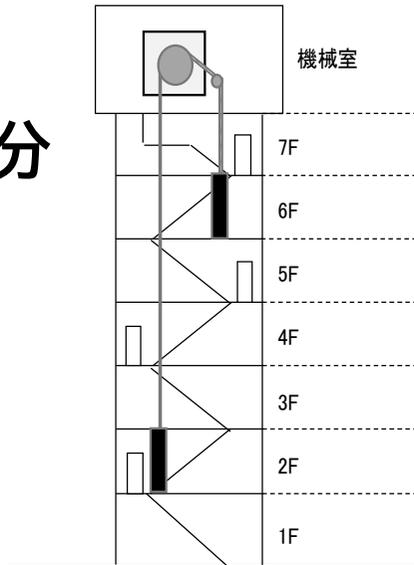


図 EV試験塔見取り図



## 2-4. 実環境での評価

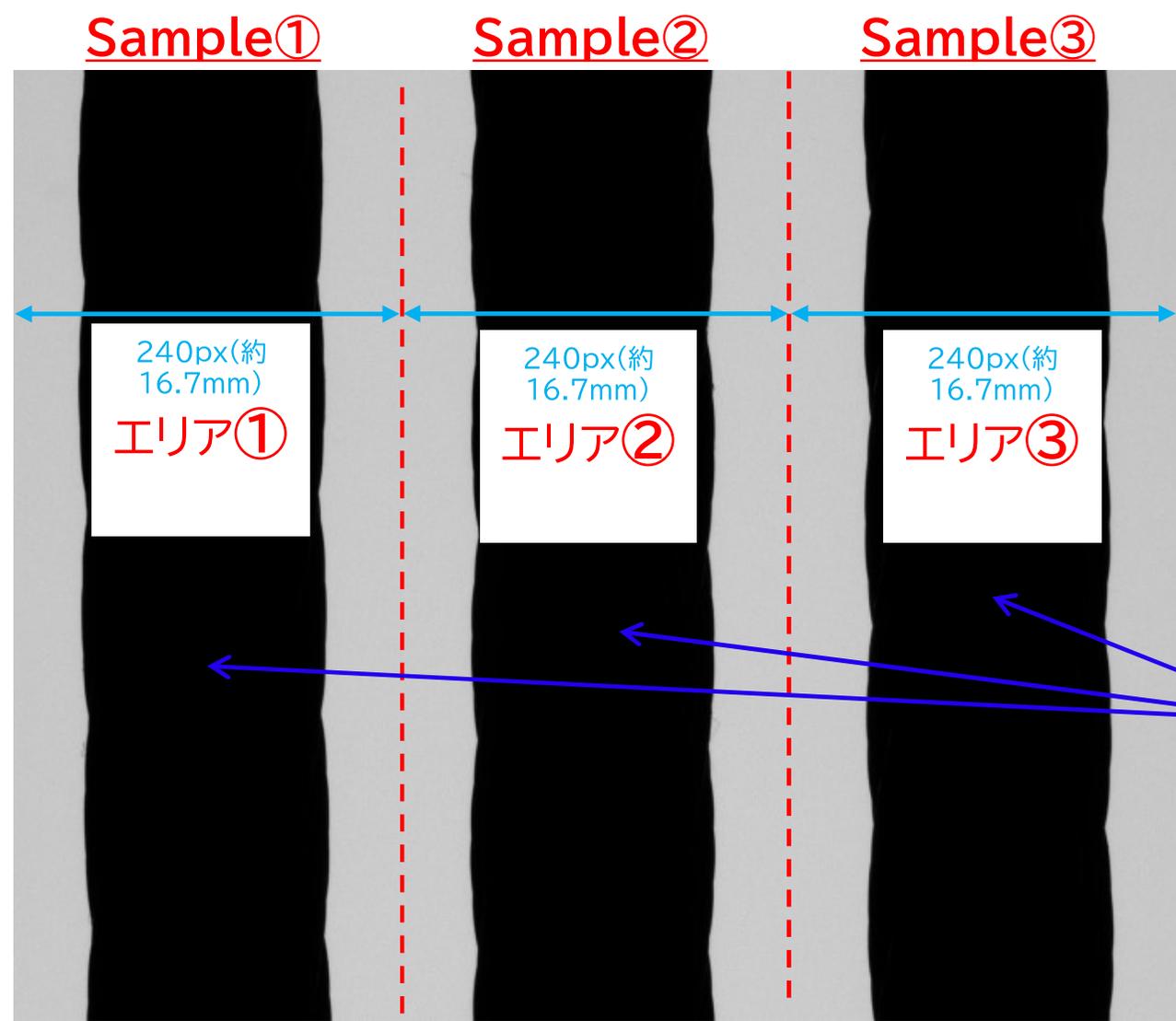
並んでいる3本のロープを計測する方法を検討

3本のロープが1画像に収まるように撮影

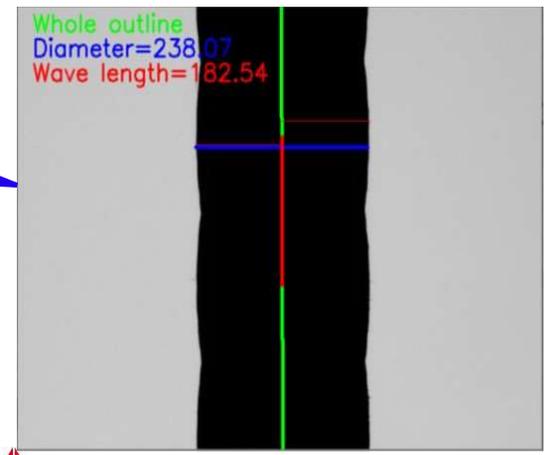


画像からそれぞれのロープについて解析し径を算出する

# 2-4. 実環境での評価



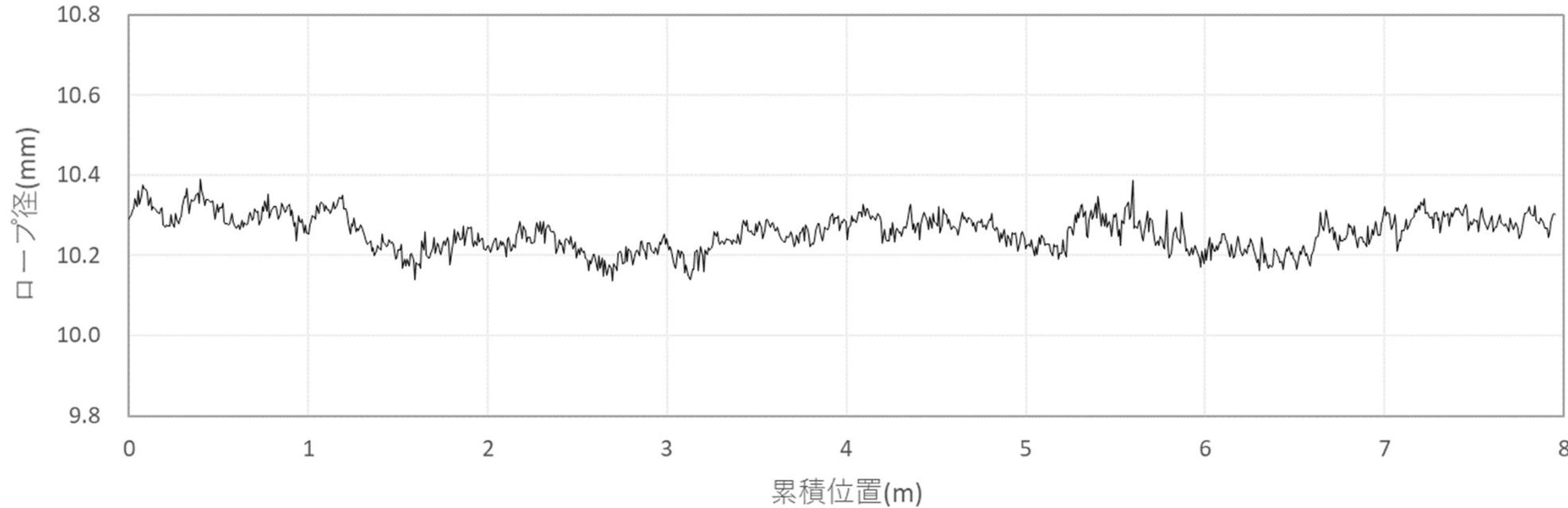
エリアごとに1本のとくと同様の処理を実施する



# 2-4. 実環境での評価

エレベーター試験塔における3本掛けロープの画像計測  
(径の算出結果: Sample①について)

エリア①

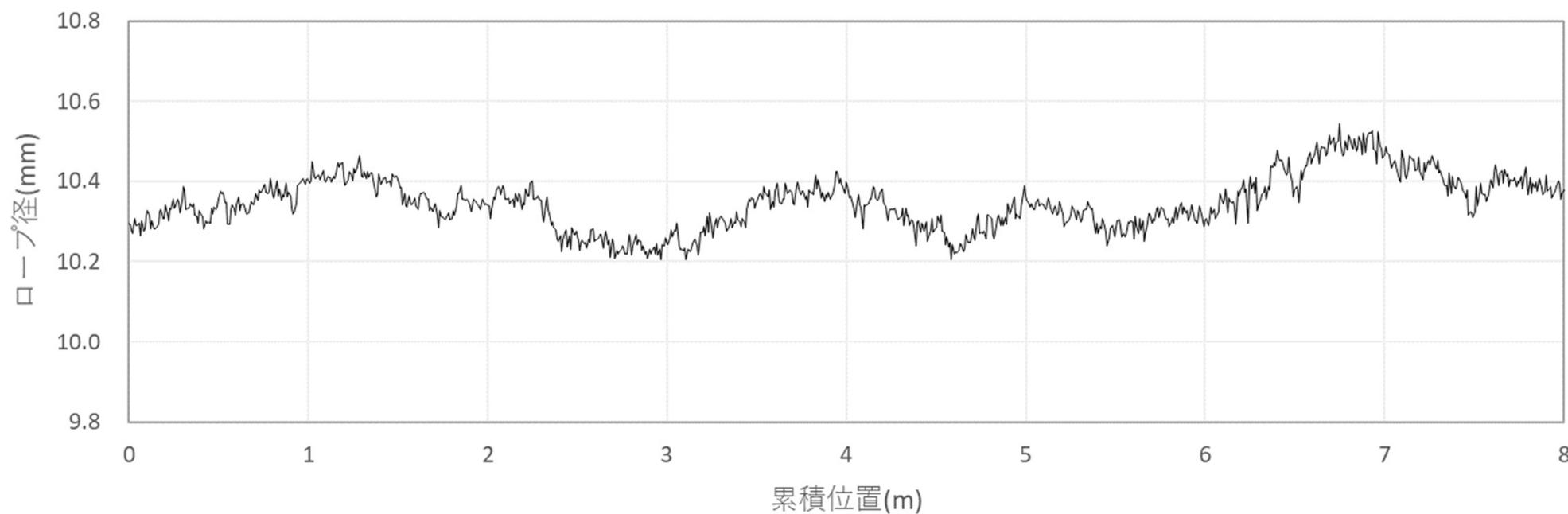


ノギス計測のロープ径: **10.31 mm**

# 2-4. 実環境での評価

エレベーター試験塔における3本掛けロープの画像計測  
(径の算出結果: Sample②について)

エリア②

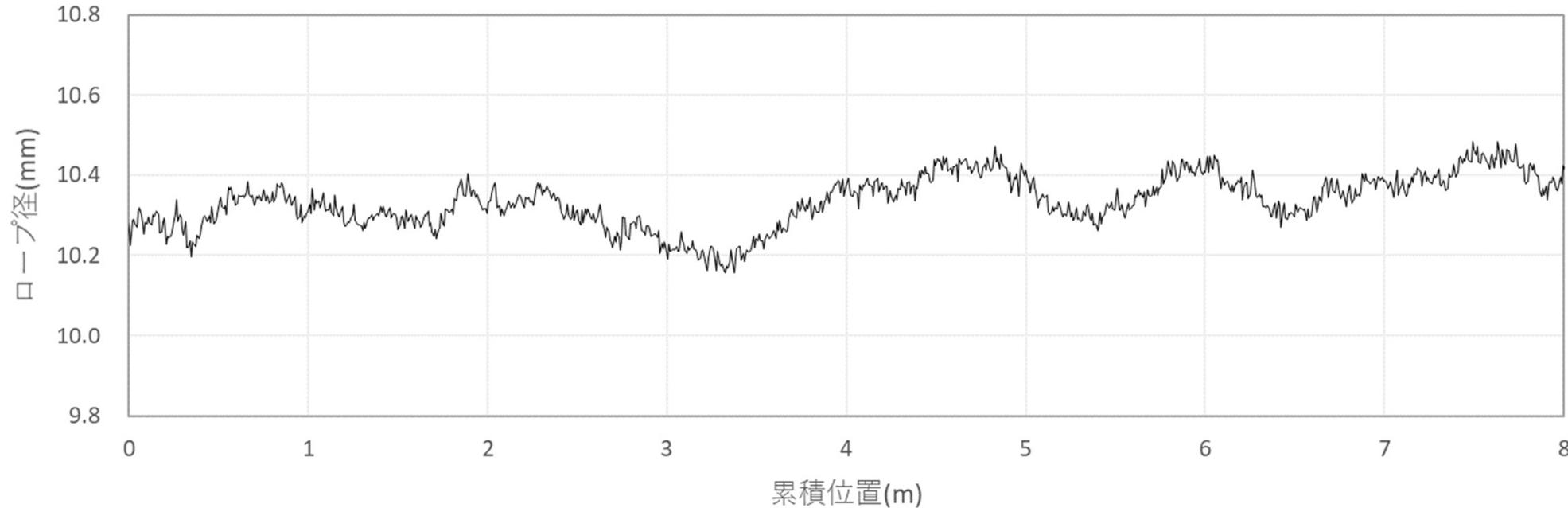


ノギス計測のロープ径: **10.31 mm**

# 2-4. 実環境での評価

エレベーター試験塔における3本掛けロープの画像計測  
(径の算出結果: **Sample③**について)

エリア③

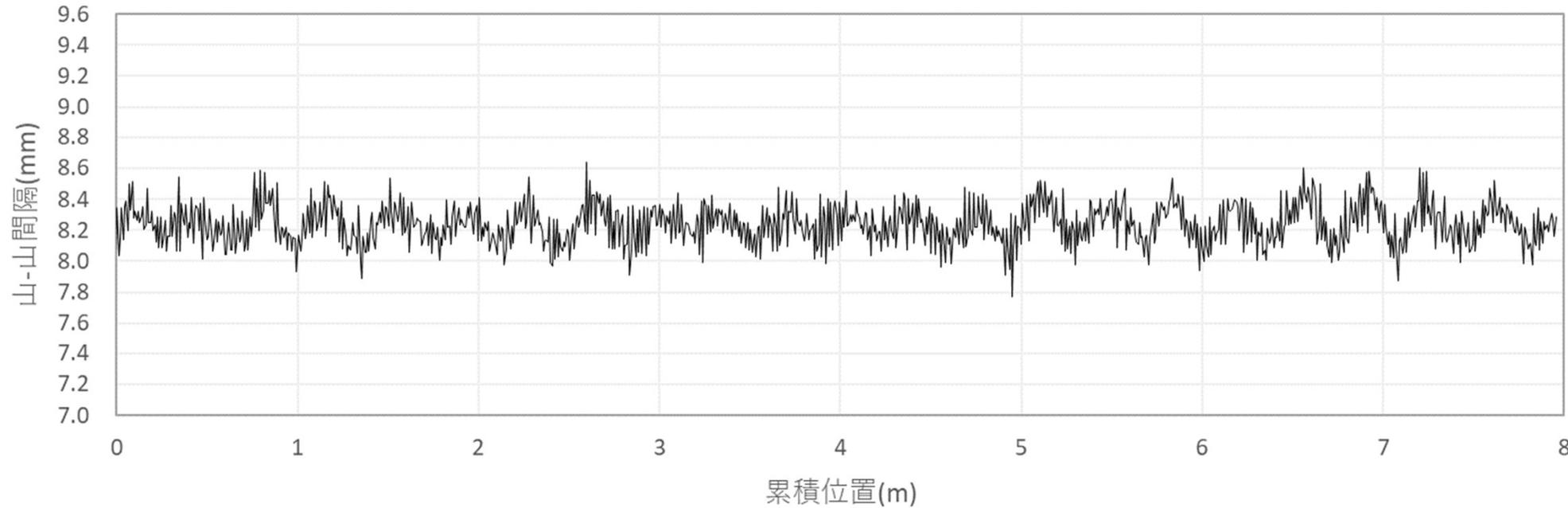


ノギス計測のロープ径: **10.31 mm**

# 2-4. 実環境での評価

エレベーター試験塔における3本掛けロープの画像計測  
(山-山間隔の算出結果:Sample①について)

エリア①



8ストランドロープなので、ピッチは山-山間隔8つ分。  
設計上のピッチは65mm、山-山間隔は8.1mm程度。

## 2-4. 実環境での評価

### <画像計測についてのまとめ>

- (1)エレベーター実機において、約120m/minで移動するロープの画像を500fpsで画像ファイル書込み保存が可能だった
- (2)ロープ径・ピッチ解析プログラムにより、3本掛けのロープ径が算出でき、計測結果の再現性があった
- (3)ロープピッチについても測定が可能

# 3-1. 画像処理による損傷検出方法

## (1) 画像処理方法について

①画像分類



↑ 飛行機の画像です

②物体検出



カスケード分類器(高速処理可能)など

③領域検出



易



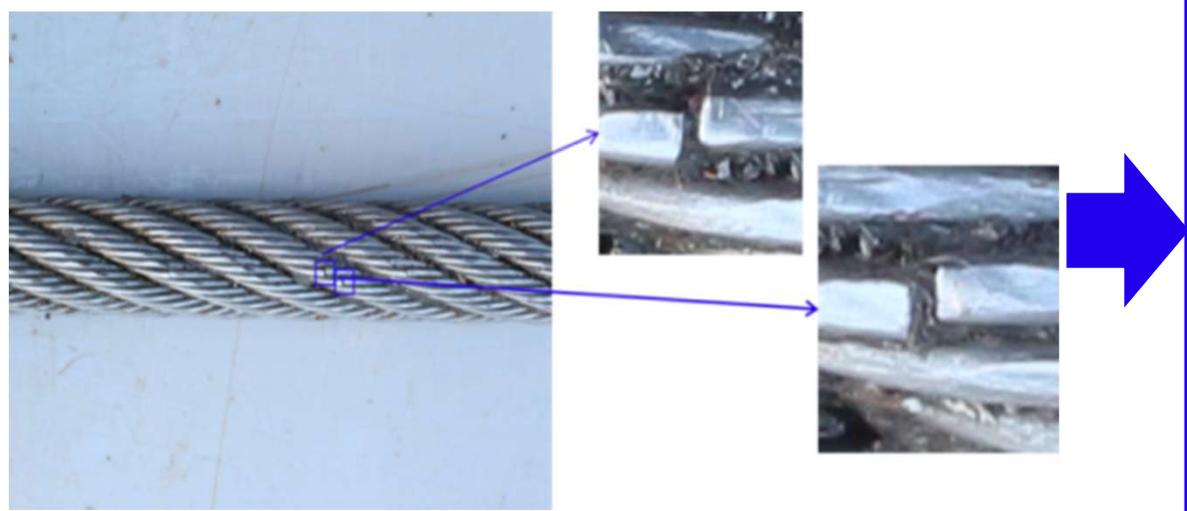
難

断線の検出と位置の特定が出来ること、高速で処理が出来ることから、当社ではカスケード分類器 (OpenCV)を採用した

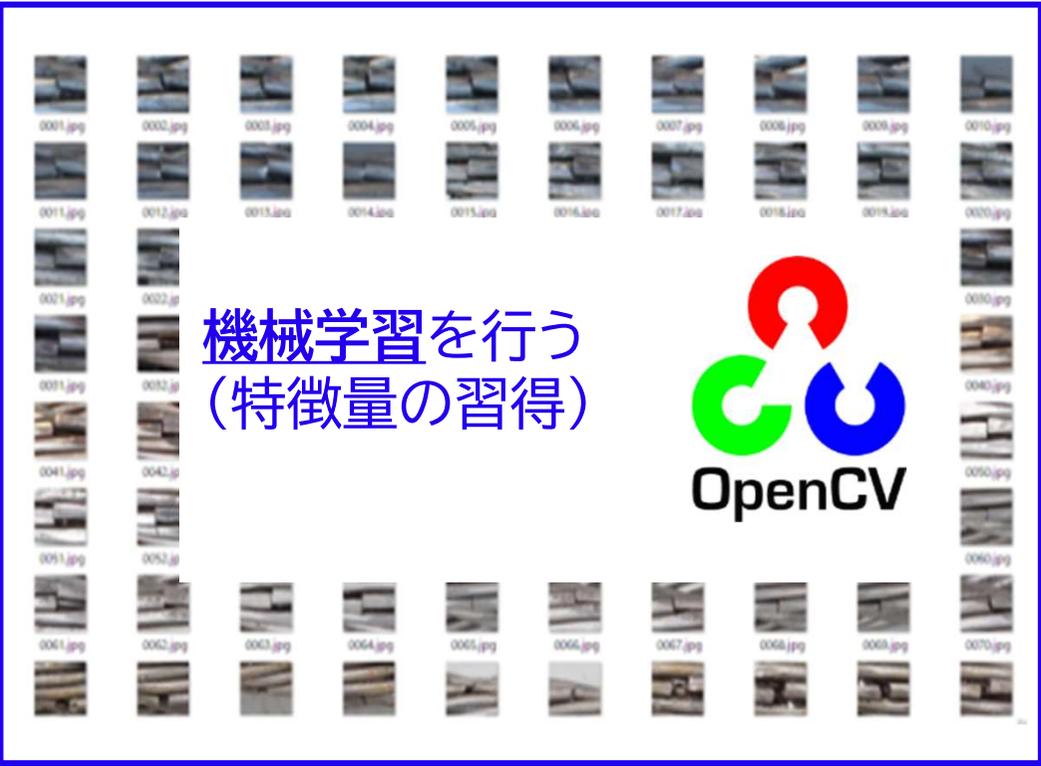
# 3-1. 画像処理による損傷検出方法

## (2)カスケード分類器の作成

当社で保有する多数の損傷サンプルの  
写真から断線部を抽出し整理



機械学習を行う  
(特徴量の習得)



## 3-1. 画像処理による損傷検出方法

### (3) 赤さびの検出方法

① 赤さびの色に近い色を持つ画素を、画像から抽出  
(色相・彩度・明度の3項目について、閾値を設定)

② 抽出された画素数をカウントし、その画像に占める割合から  
赤さびの進行レベルを判定する

比率小



比率大



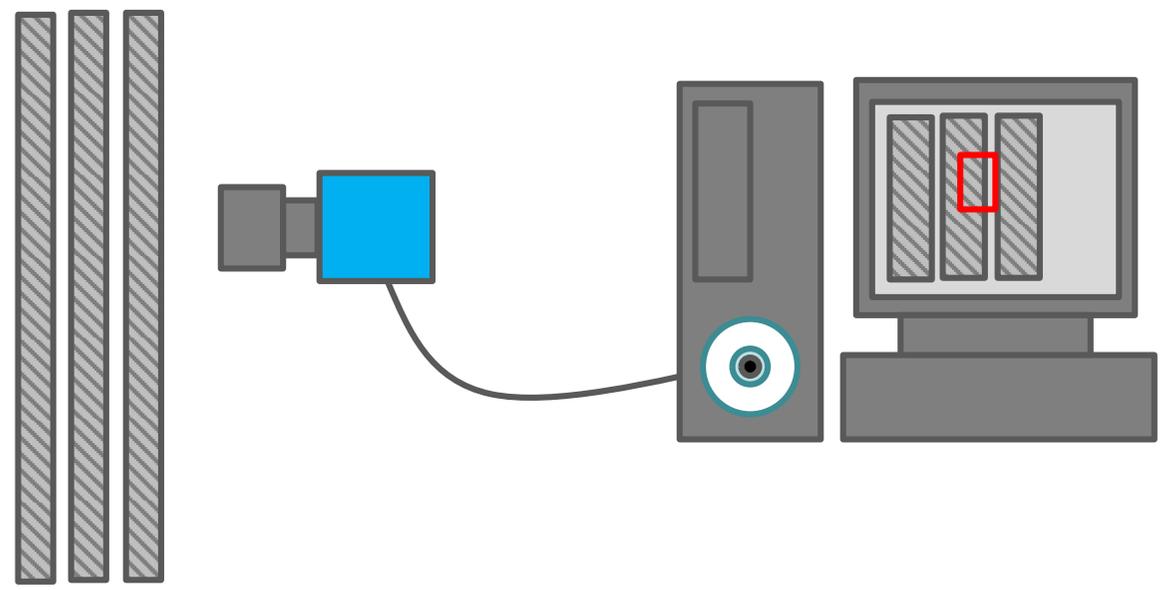
# 3-1. 画像処理による損傷検出方法

## (4)画像処理による測定の流れ

step1  
動画撮影

step2  
損傷検出プログラム

step3  
結果出力



結果レポート			
断線	赤さび	損傷	
○m点	○本	なし	なし
○m点	なし	あり	なし
...			

## 3-2. 損傷検出プログラムの動作試験

### (1) 損傷検出プログラムの動作試験の実施

基本的な機能を持つ検出プログラムが完成した段階で、机上試験を実施した



## 3-2. 損傷検出プログラムの動作試験

### (2) 机上試験のサンプルロープ

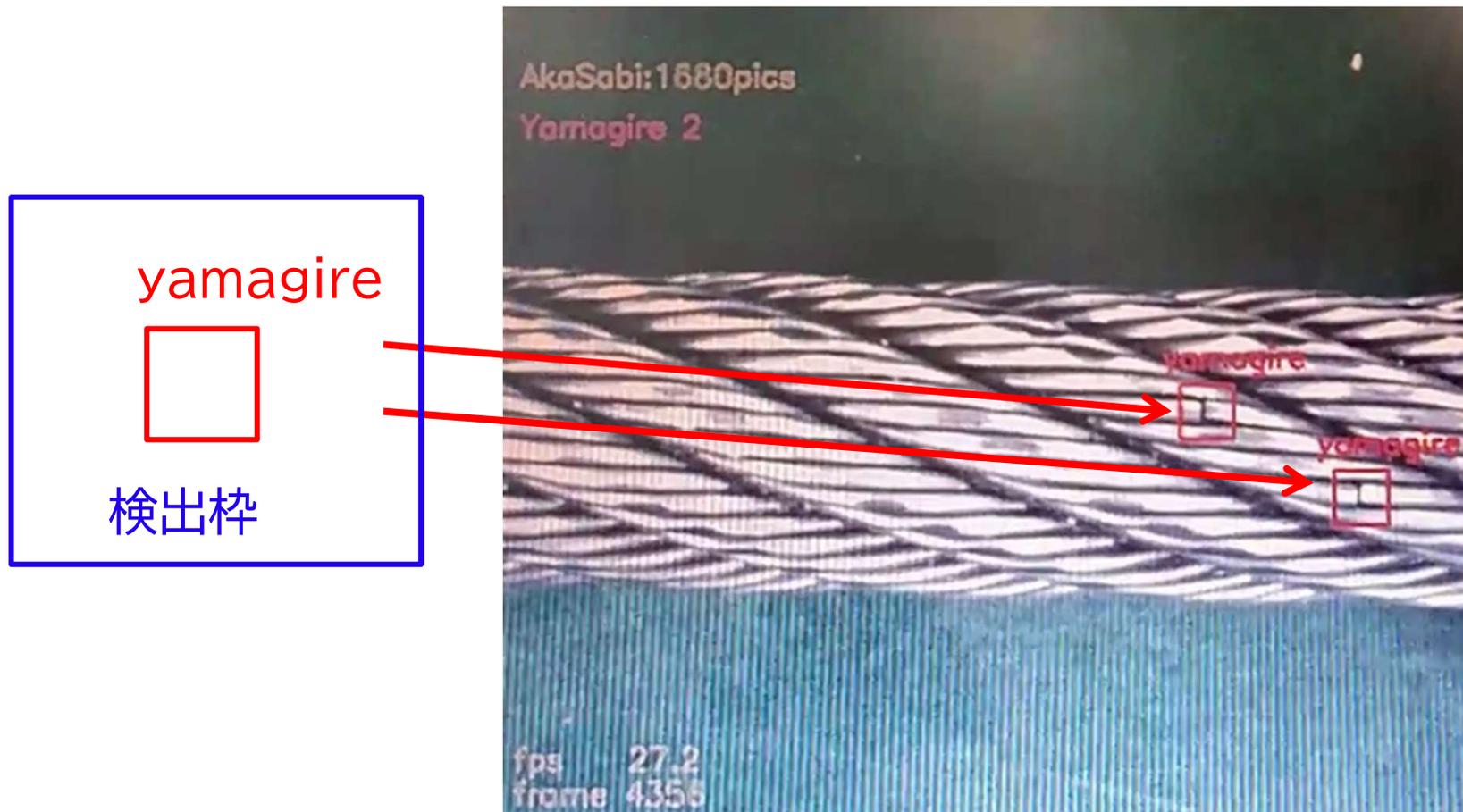
① 山切れ断線

② 赤さび(酸化鉄塗布)



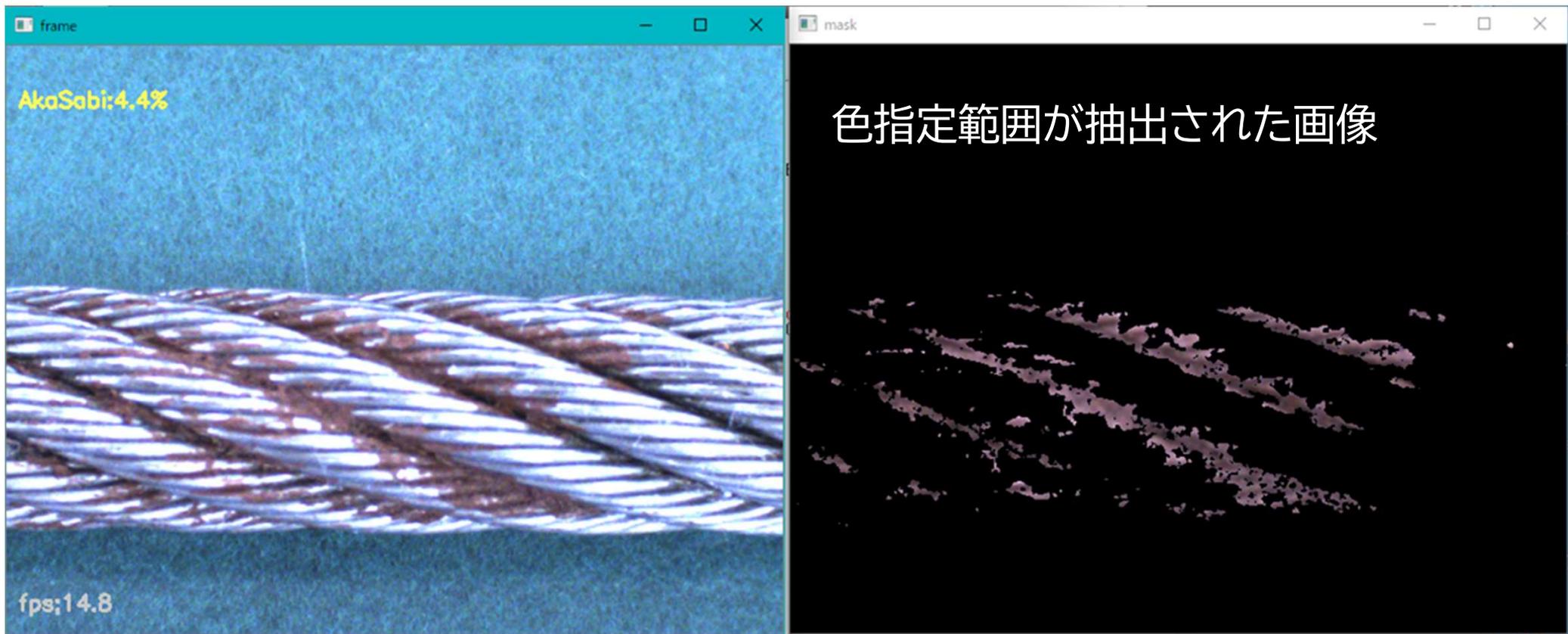
## 3-2. 損傷検出プログラムの動作試験

### (3) 山切れ断線の検出結果



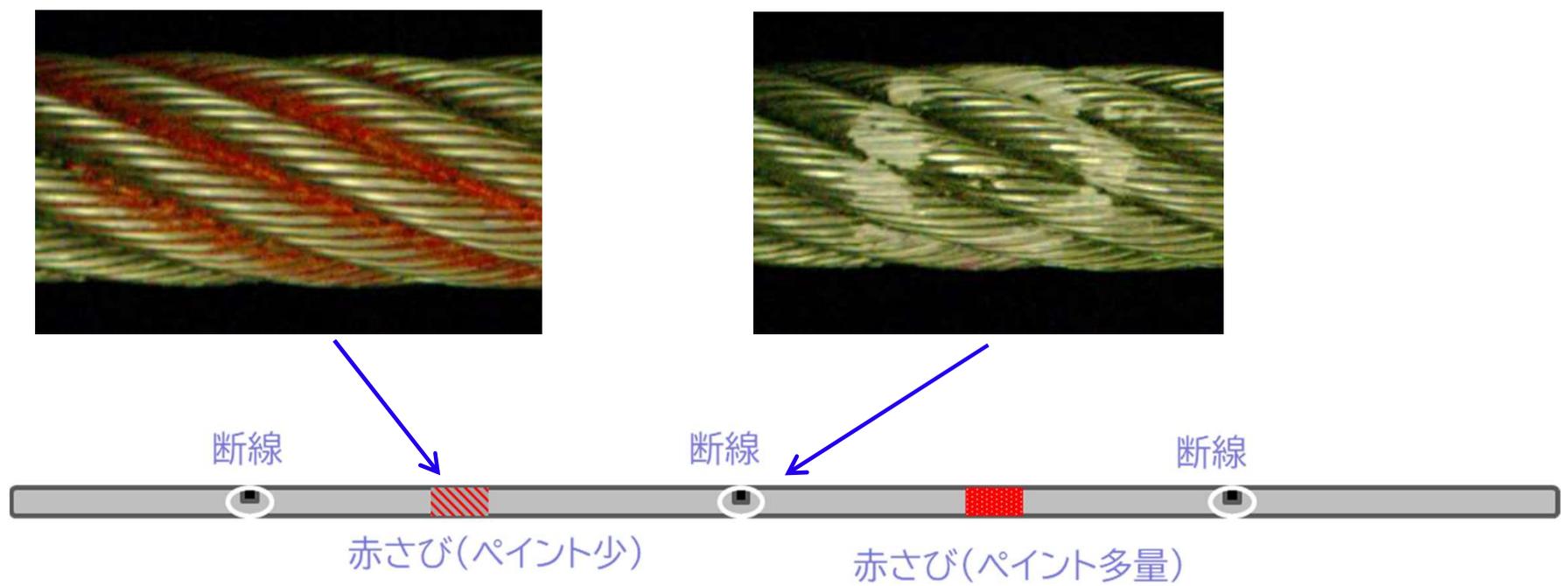
## 3-2. 損傷検出プログラムの動作試験

### (4) 赤さびの検出結果



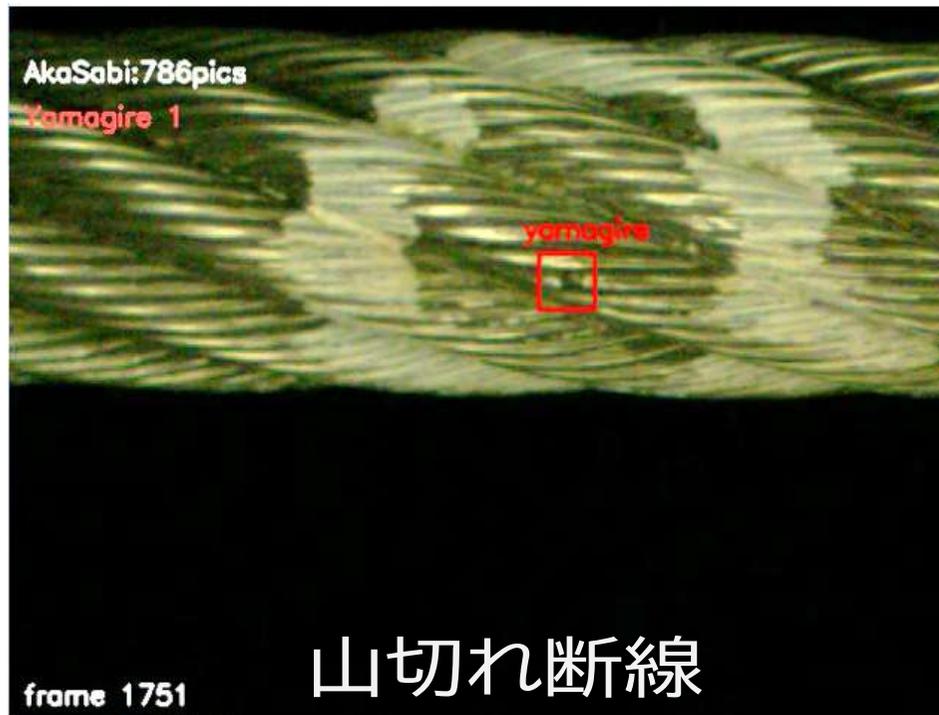
# 3-3.高速走行での検出性能試験

- (1)ワイヤロープ疲労試験機での試験条件
- ・ロープ走行速度 150m/分
  - ・ワイヤロープ径φ16mm(下図の通り加工)



## 3-3. 高速走行での検出性能試験

### (2) 損傷の検出結果(山切れ断線と赤さび)

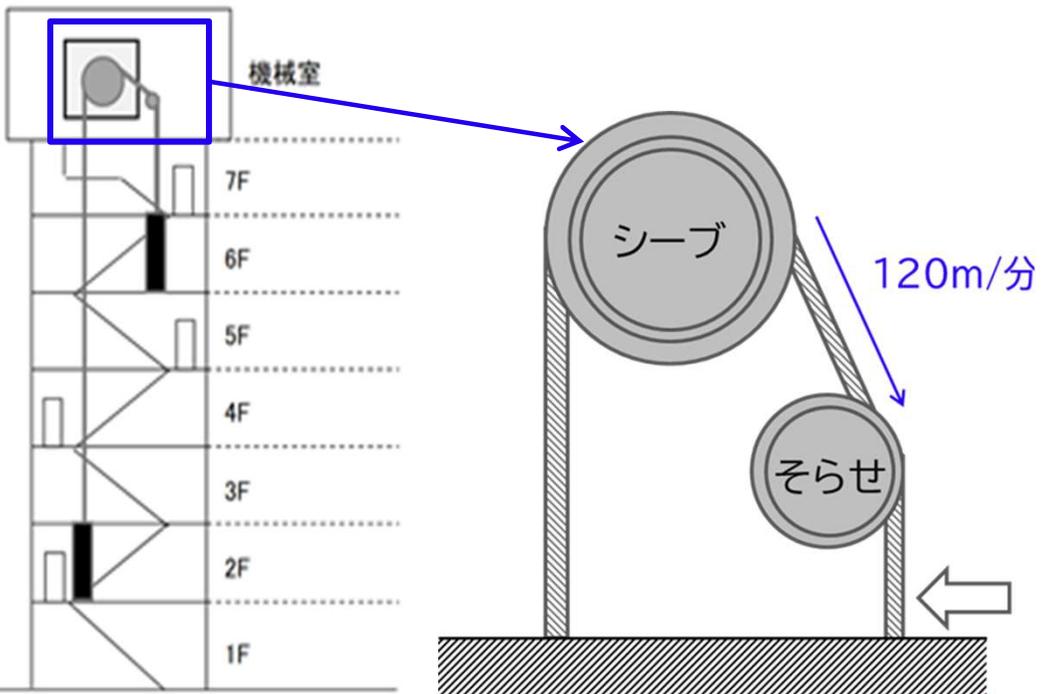


山切れ断線、赤さび(ペイント)の検出が出来た

# 3-4. 複数本掛けの検出性能試験

## (1) エレベーター試験塔の試験条件

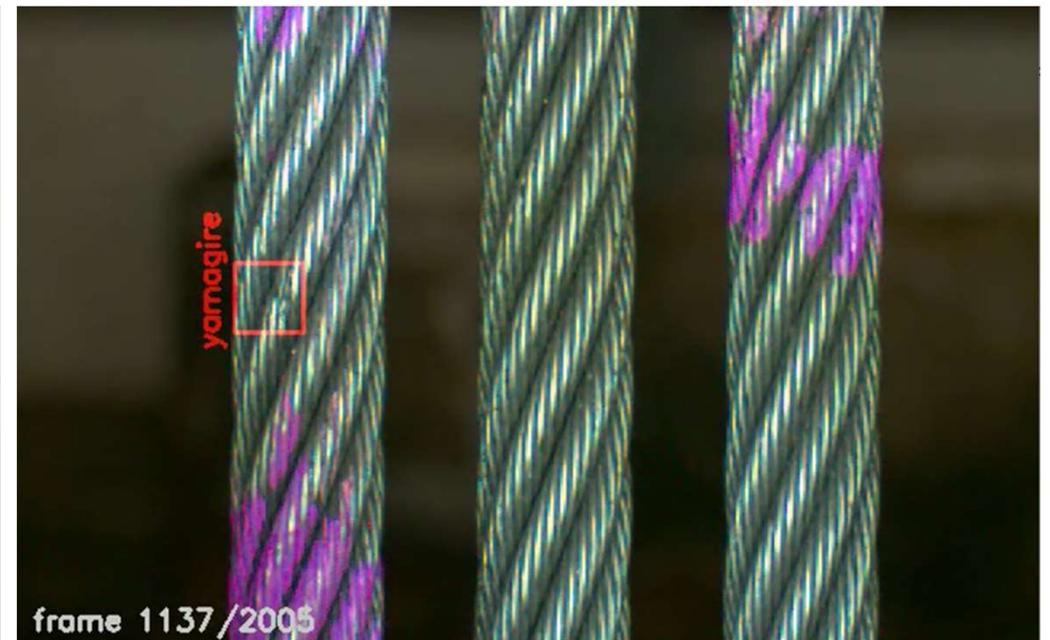
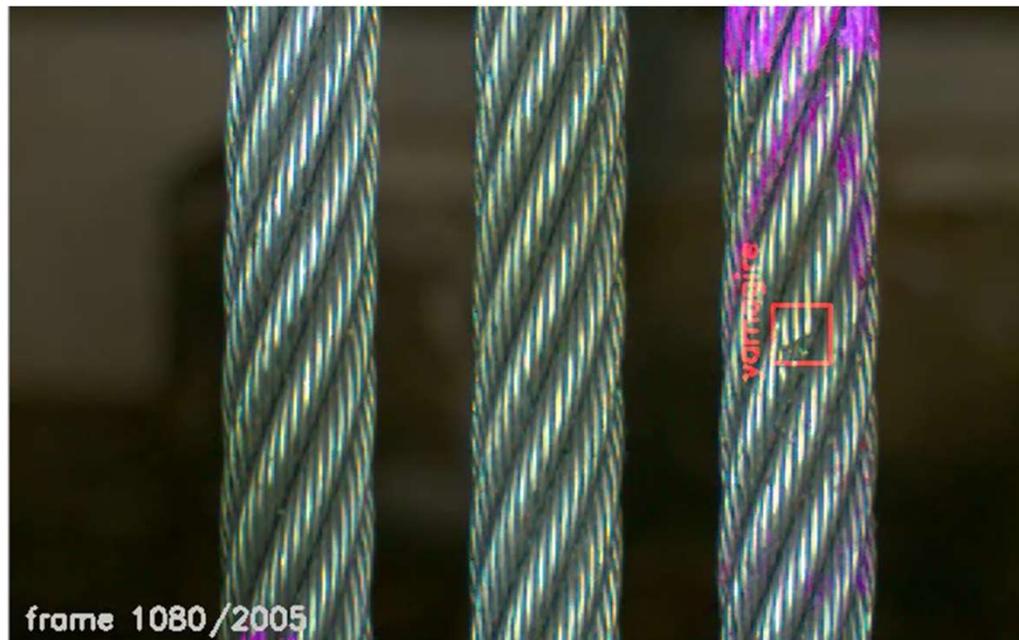
- ・ロープ走行速度 120m/分
- ・ロープ径  $\phi 10$  x 3本掛け



## 3-4. 複数本掛けの検出性能試験

### (2) 複数本掛けでの断線の検出結果

3本掛けにおいても、損傷検出プログラムによって断線の検出が可能だった



## 3-4. 複数本掛けの検出性能試験

### (3) 赤さびの検出結果

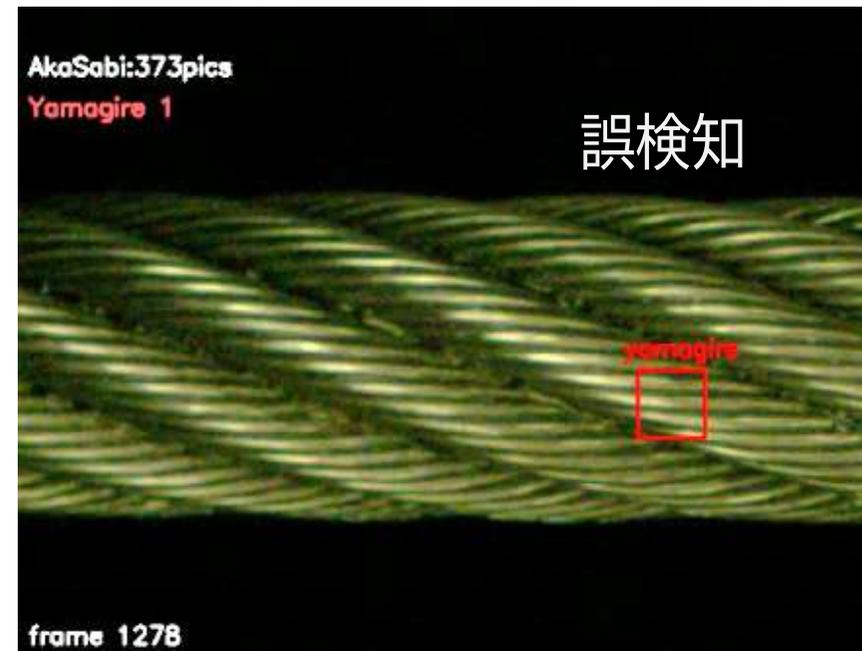
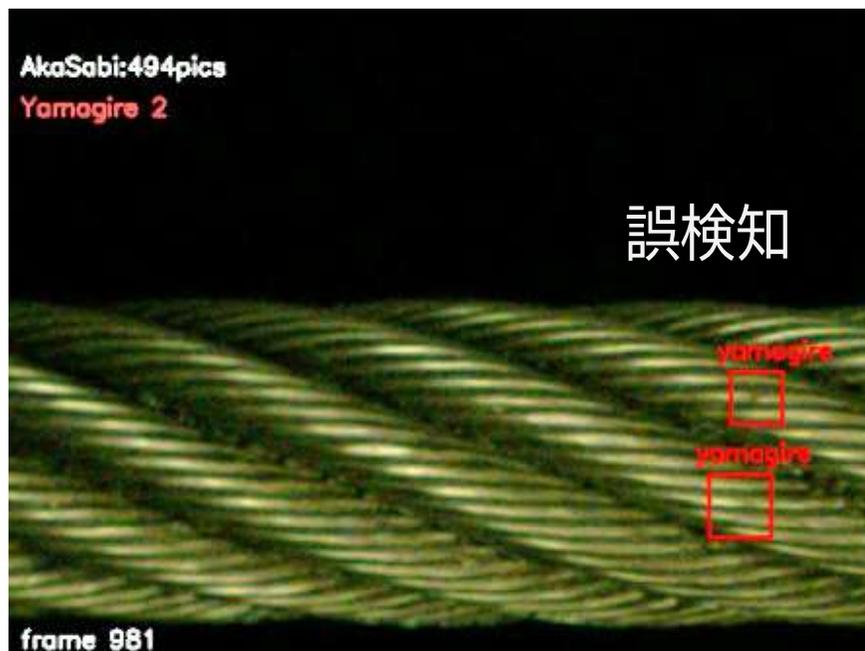
複数本掛けでも、損傷検出プログラムによって赤さびを模したペイントを検出することが可能なことが確認できた



## 3-5. 断線誤検出の除去処理

### (1) 誤検知率の増加

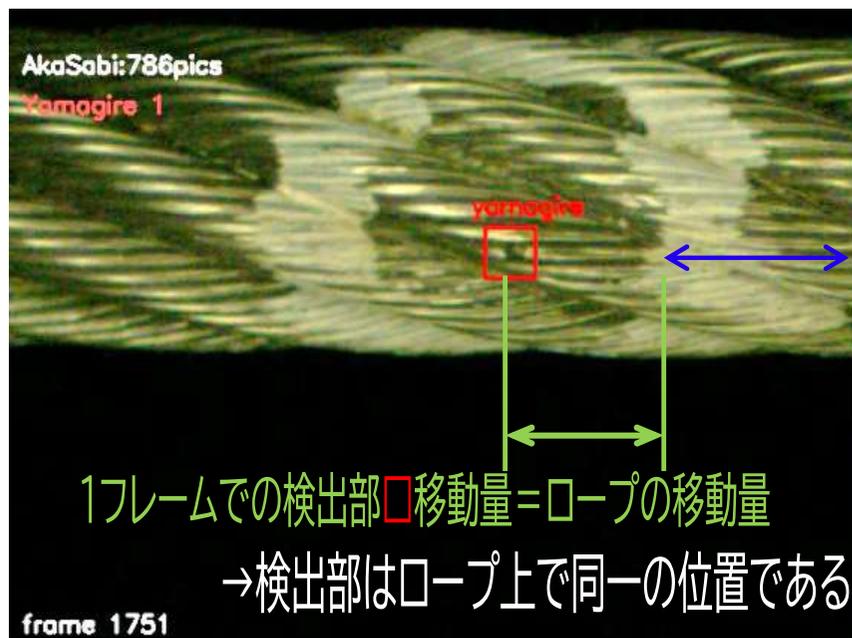
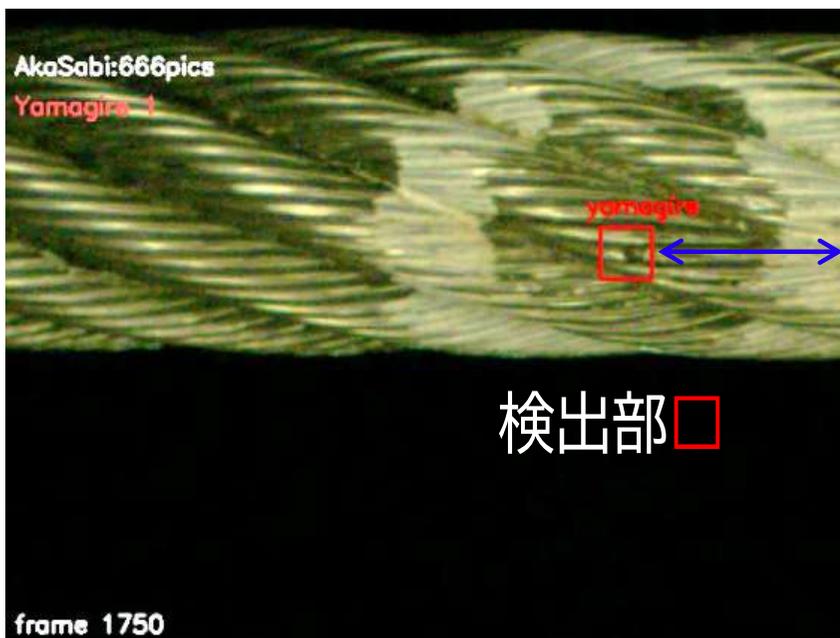
断線部を確実に検出できるようにパラメータを調整すると  
ロープ表面の陰影などを誤検知してしまう頻度も高くなる



# 3-5. 断線誤検出の除去処理

## (2)断線検出の特徴

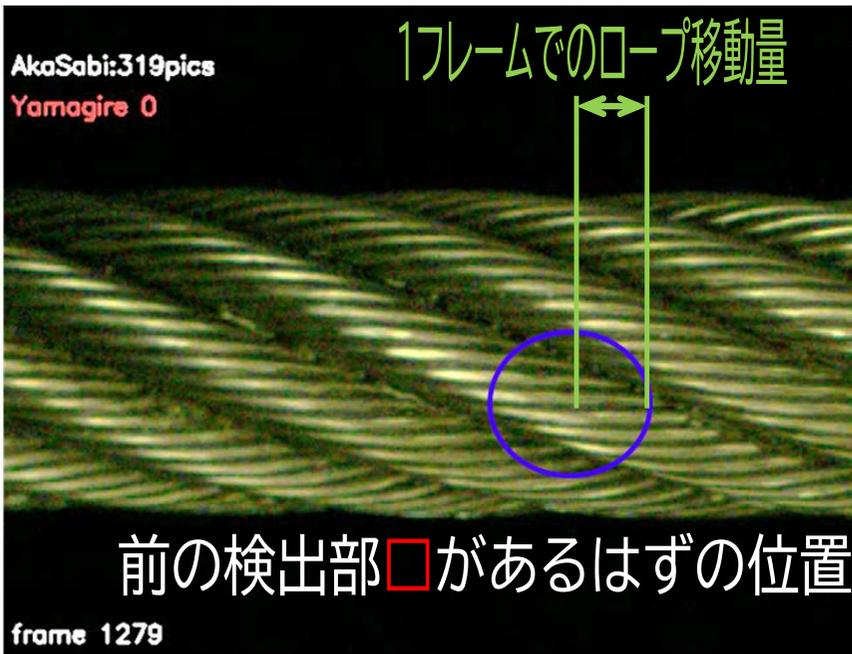
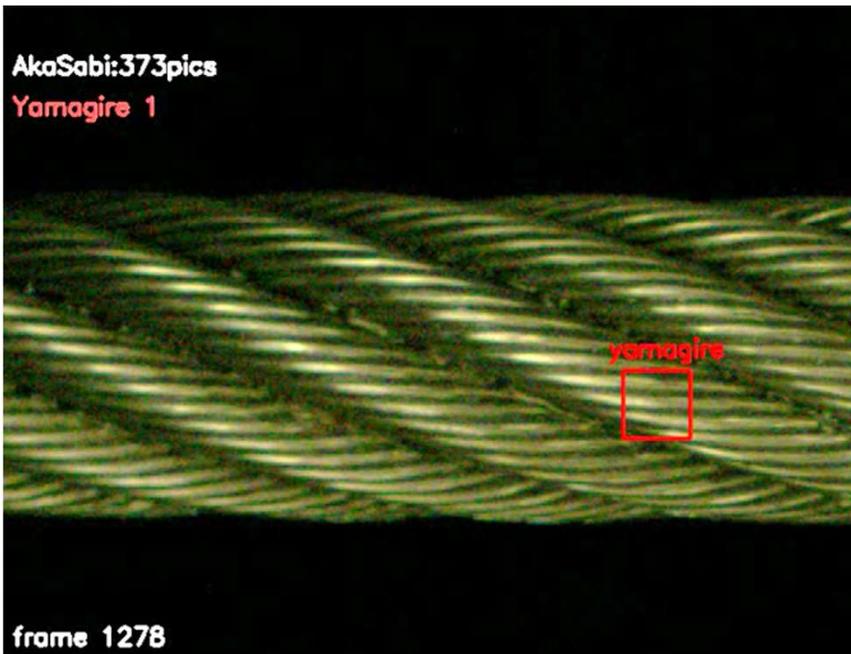
断線部は検出された次のフレームでも検出されることが多い  
画像を比較すると検出位置は緑色の⇔の長さだけ異なる  
⇒ロープが1フレームでその長さだけ移動したため



# 3-5. 断線誤検出の除去処理

## (3) 誤検知部の特徴

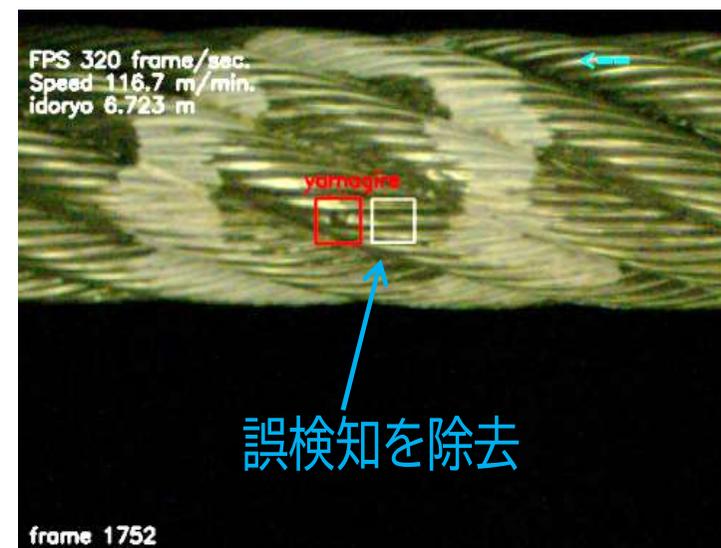
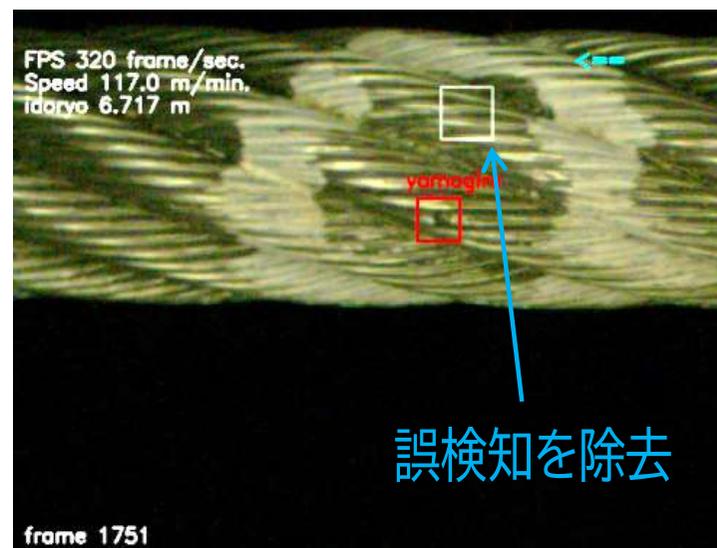
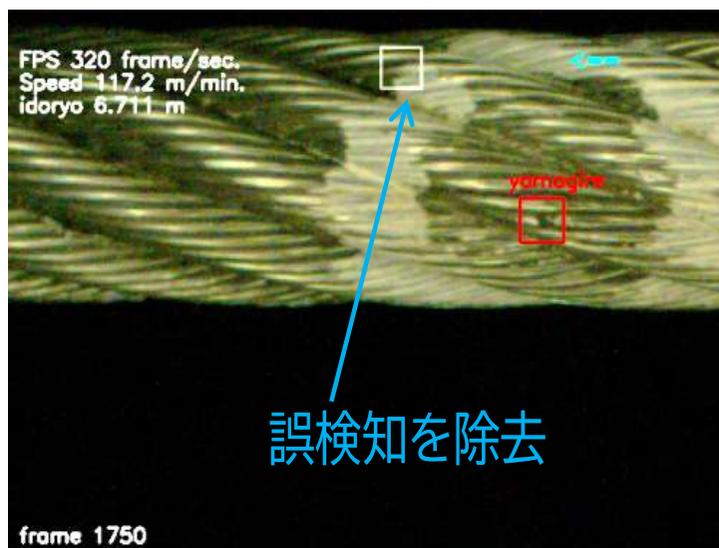
次のフレームの同じ位置を比較すると検出されていないことが多い(特に光の加減による陰影を誤検知している場合)  
⇒この検出を除外する機能を追加した



## 3-5. 断線誤検出の除去処理

### (4) 検出プログラム改善結果

陰影やマーキング部の誤検知は、フレーム間で連続していないため、判定から除去された(白枠として表示は残している)。断線部は連続して検出されているので、赤枠で表示される。



⇒この機能で誤検知を許容する(断線を見逃さない)安全な方向で検出  
パラメータの設定ができるうえ、調整時間の短縮も期待できる

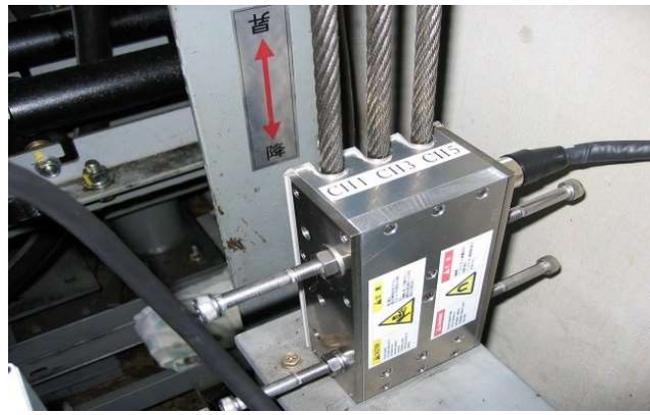
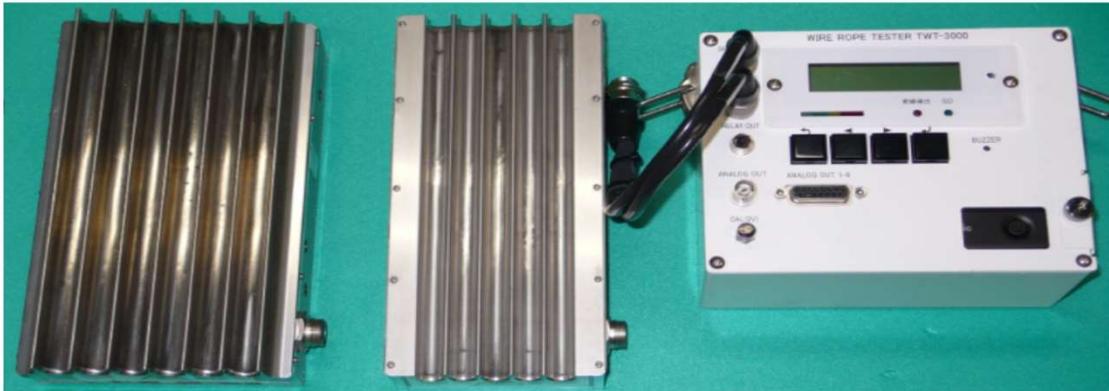
## 3-6. まとめ

- (1) 損傷検出プログラムによって、高速度で走行する複数本のワイヤロープについて、表面の断線や赤さびの検出が可能
- (2) 当社では安全側で評価を行うため、見逃しをなくすようある程度の誤検出を許容する方向でパラメータの調整をしている。また、その対策についても開発を進めており、一定の効果が得られている

# 4-1. 現行の接触式ロープテスター(エレベータ用)

## 現行のエレベータ用ロープテスター(接触式の磁化器)

永久磁石を利用した漏洩磁束法は、当社はエレベータ用の検査用の装置としてシリーズ化しています。

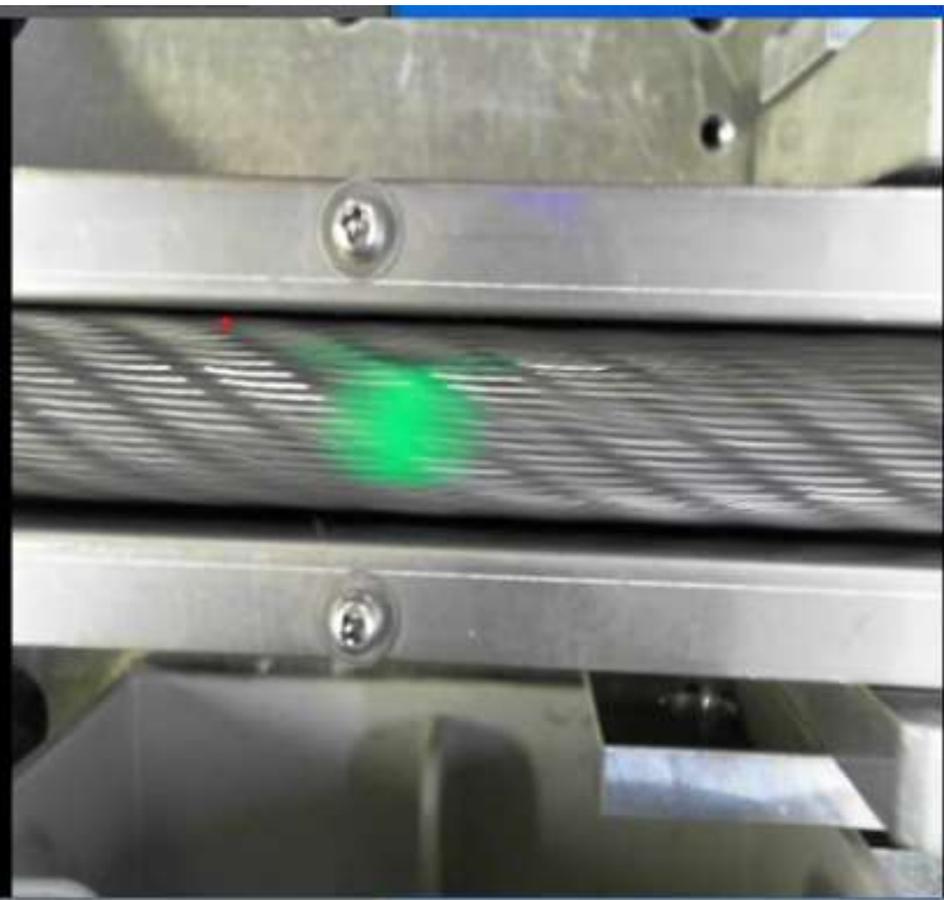
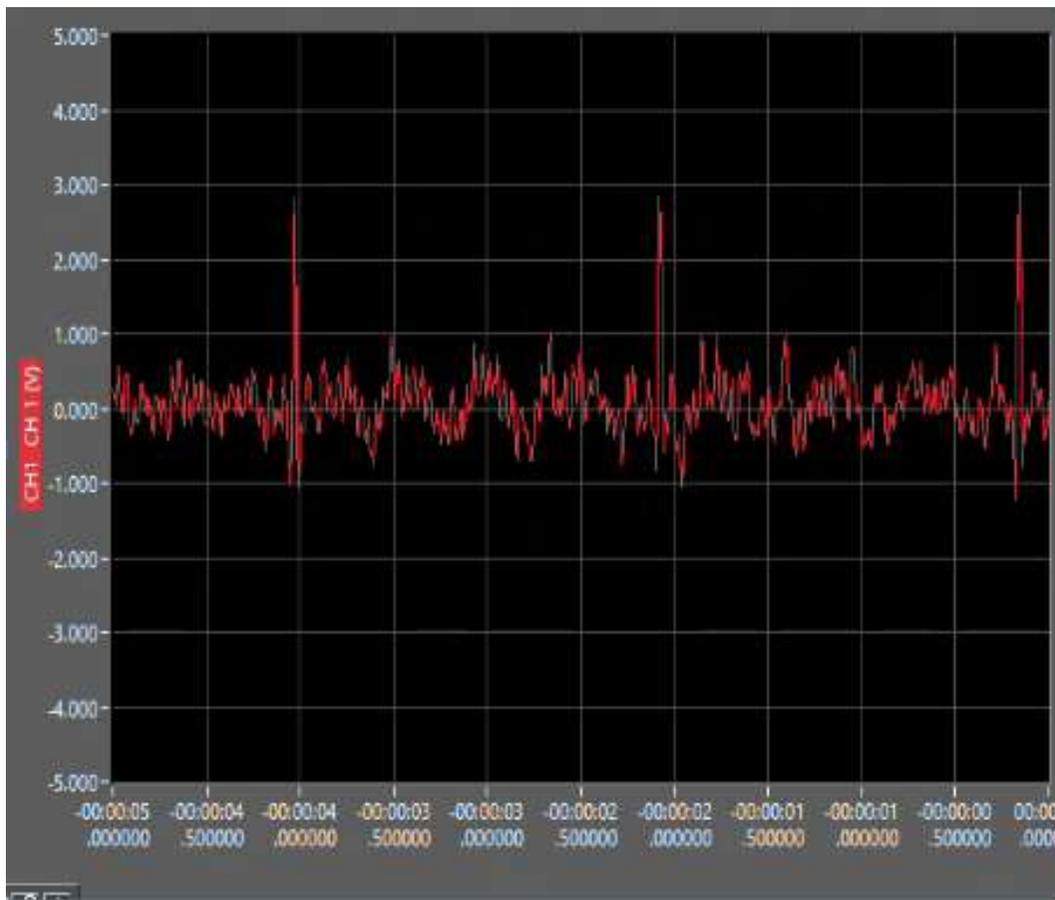


設置の様子

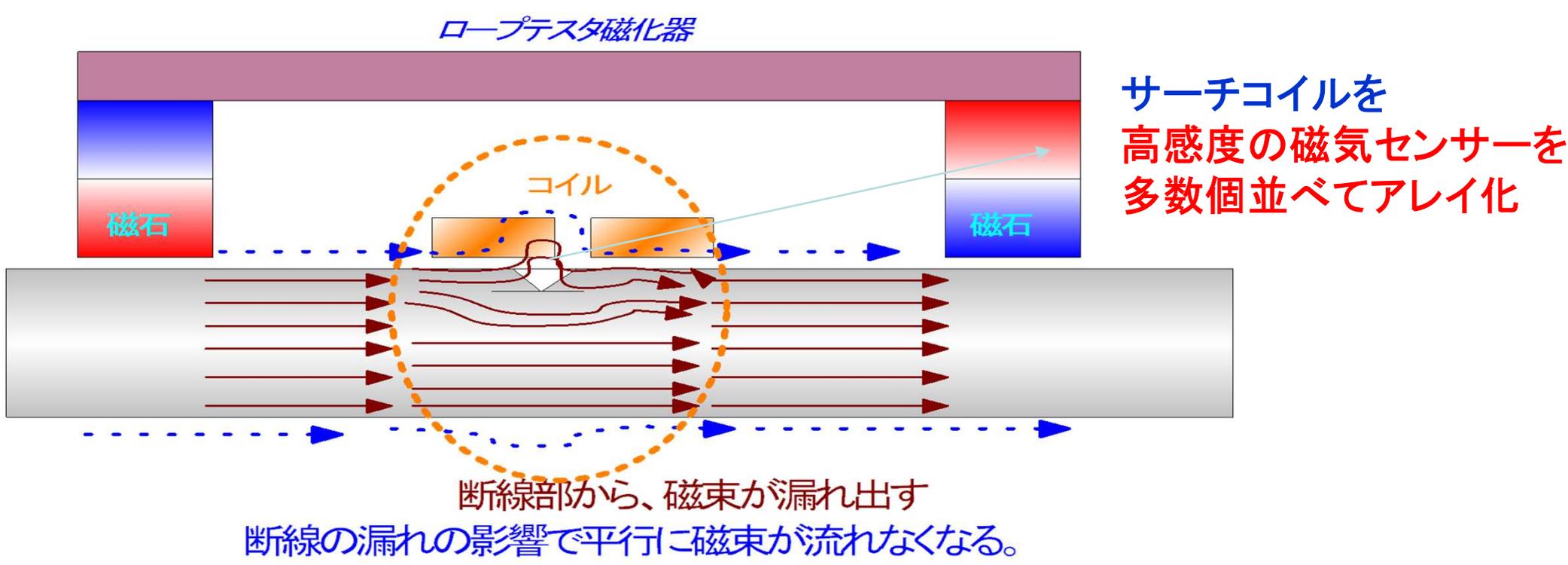


# 4-1. 現行の接触式ロープテスター(エレベータ用)

接触型磁化器 EVR 8×Fi(25)φ12 断線間隔0.65、0.72、0.87mm



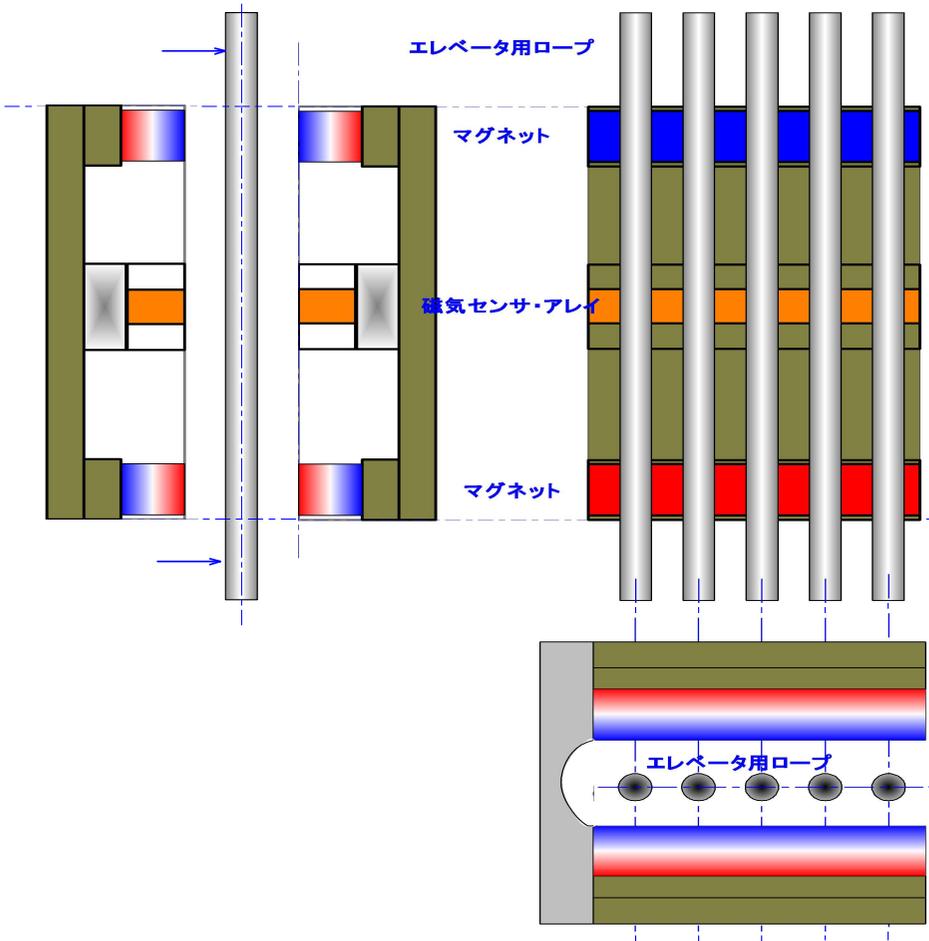
# 4-2. 漏洩磁束法の検出原理



漏洩磁束法の原理図

ロープを長手方向に永久磁石で磁化中央部にセンサーを配置してロープ断線部からの漏れ磁束をセンサーで検出する方法である。

# 4-3. 非接触型磁化検出器の概要



非接触型磁化検出器の概要

## (1) 磁化器の構成

ロープを磁化器で両側から挟み込む漏洩磁束法の形状とし

- ①ロープ間隔に依存しない
- ②取付時の調整が容易な構造

上記を考慮した非接触式の磁化器構造とした。

## (2) 検出センサ

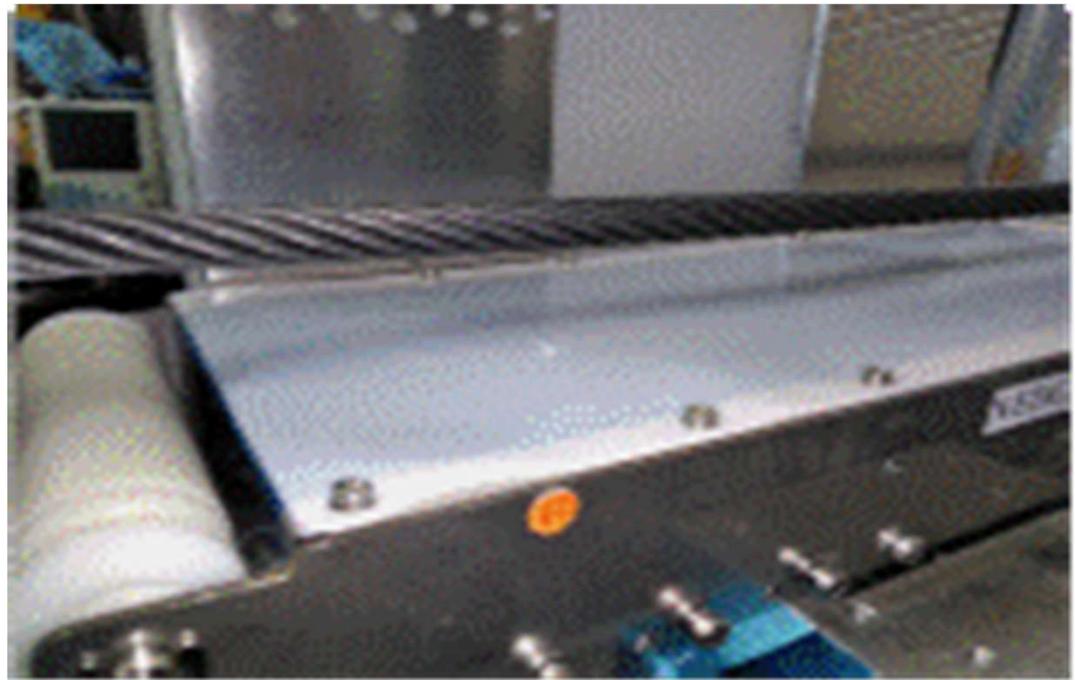
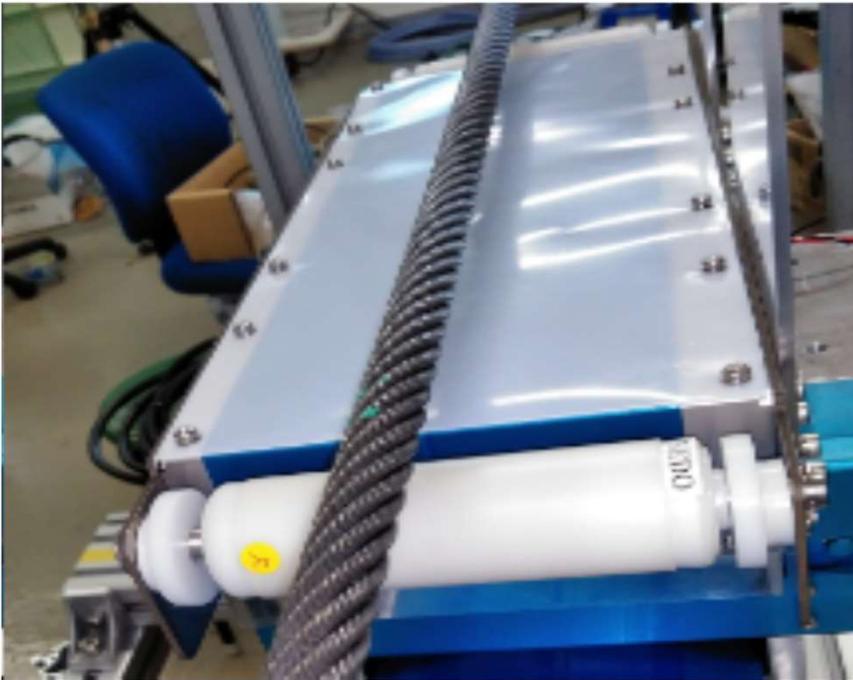
磁化器中央部に磁気センサを多数配列するアレイ方式とした。

磁気センサアレイ式にすることで何本のロープが磁化器にある判別可能になる。

## 4-4. 漏洩磁束法非接触型磁化器

### (1) 漏洩磁束型の試作磁化器

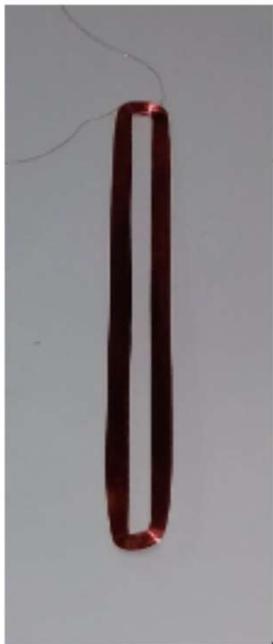
#### 磁化器（片面）の写真



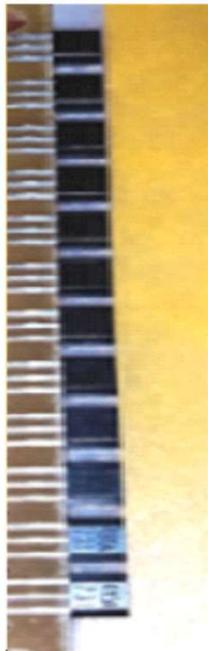
非接触型漏洩磁束法磁化器とロープの非接触写真（片面）

# 4-4. 漏洩磁束法非接触型磁化器

## (2)非接触型磁化器の磁気センサについて



サーチコイル  
(接触式に使用されている)



磁気センサ ×12ヶ  
(非接触型のセンサー)

接触式の磁化器には、レーストラック型コイルをロープ形状に合わせてU字に曲げた形状のサーチコイルを使用している。

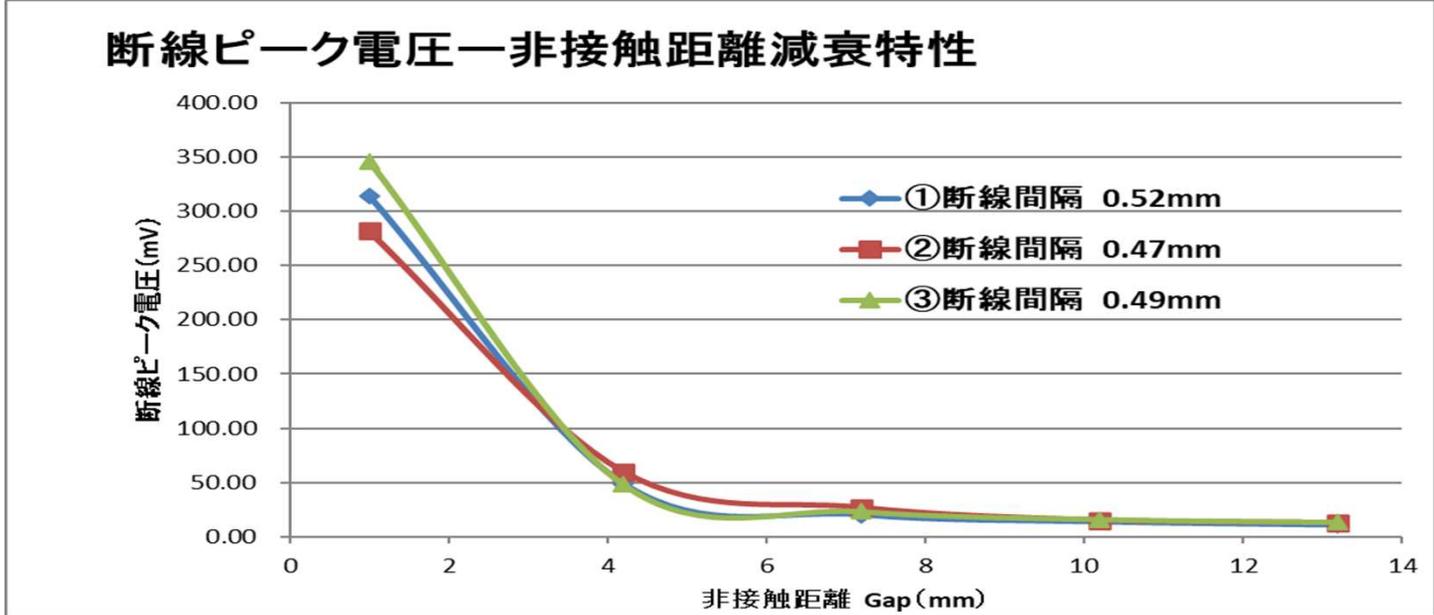
非接触型磁化器では、磁気センサIC素子を12ヶ配列の磁気センサアレイ型とした。

サーチコイルと非接触型磁化器の磁気センサアレイ

# 4-4. 漏洩磁束法非接触型磁化器

## (3) 非接触型磁化器の磁気センサの非接触断距離特性の把握

・非接触式 評価装置の磁気センサー⇒ 磁気センサアレイ 12素子×1列



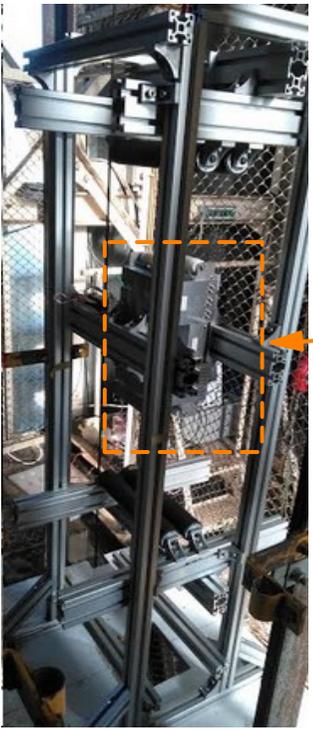
アレイ化磁気センサの距離感度特性(非接触距離減衰特性)

非接触距離約4mm以下の場合、S/N2以上良好な断線ピークがえられる。  
非接触距離が大きくなると断線検出の難易度が高くなる。

# 4-5. 非接触型磁化器のエレベーター試験塔での実験

## (1) エレベーター試験塔

ワイヤロープ3本での非接触距離等セッティング条件  
φ10mm 8×S(19)×3本 外層素線径 φ0.66mm ロープ速度 約120m/分



磁化器

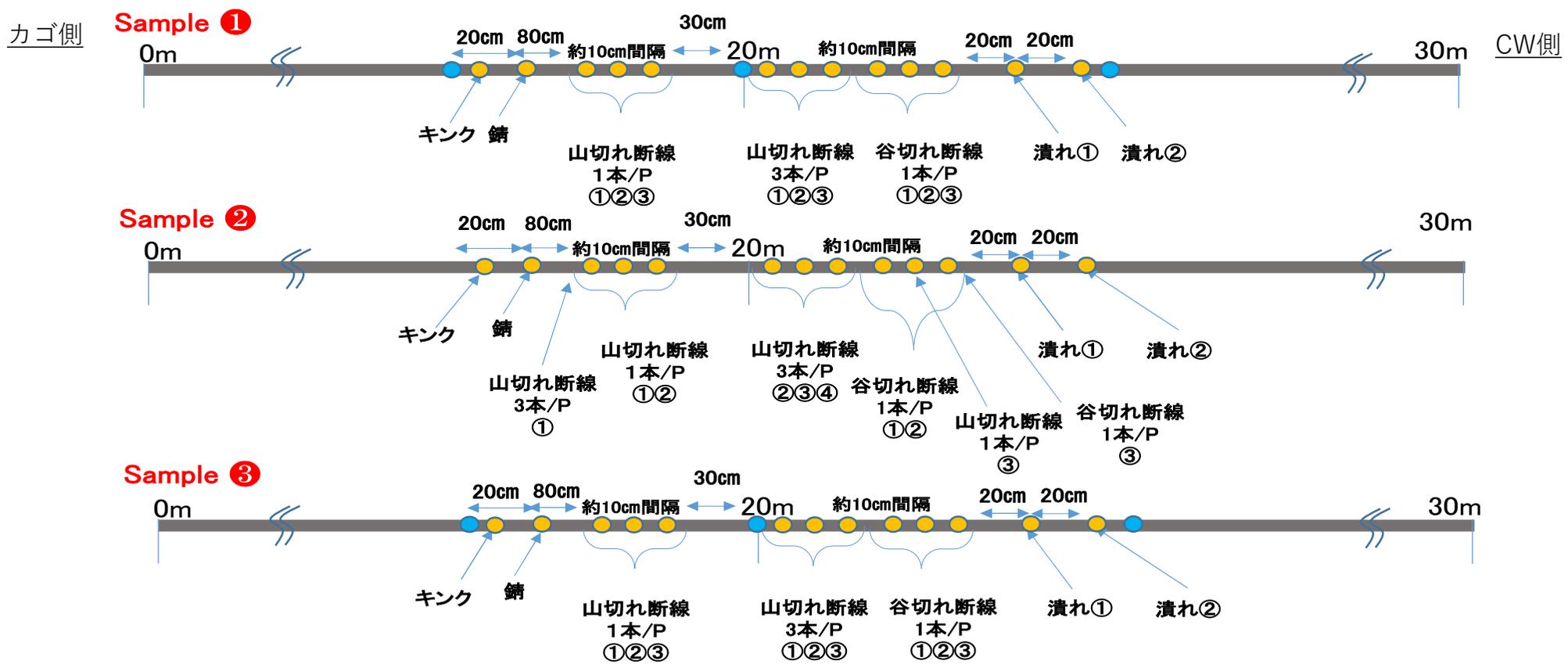


ロープとの磁化器表面からの非接触距離は、約 6 mm～8 mm程度

エレベーター試験塔でのワイヤロープ3本 漏洩磁束型磁化器取付

# 4-5. 非接触型磁化器のエレベーター試験塔での実験

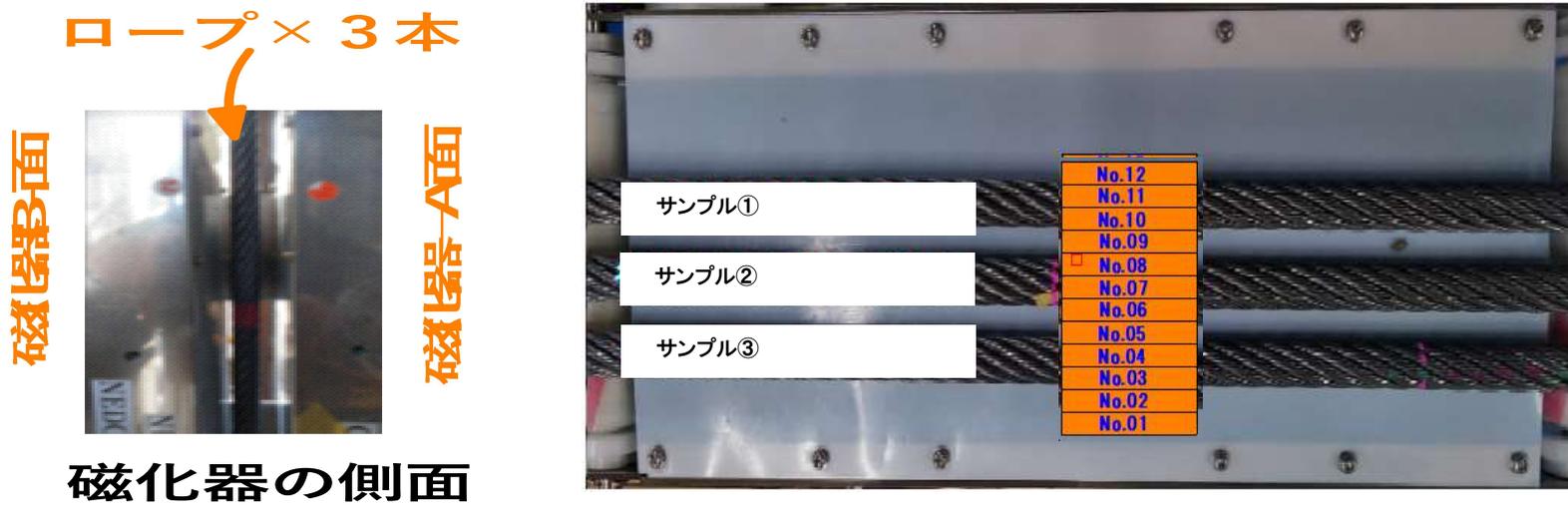
## (2)エレベーター試験塔 ワイヤロープ3本でのテストロープ損傷条件マップ



エレベーター試験塔でのワイヤロープ3本 損傷・位置関係図

# 4-5. 非接触型磁化器のエレベーター試験塔での実験

(3)エレベーター試験塔  
ワイヤロープ3本と磁気センサ位置関係図



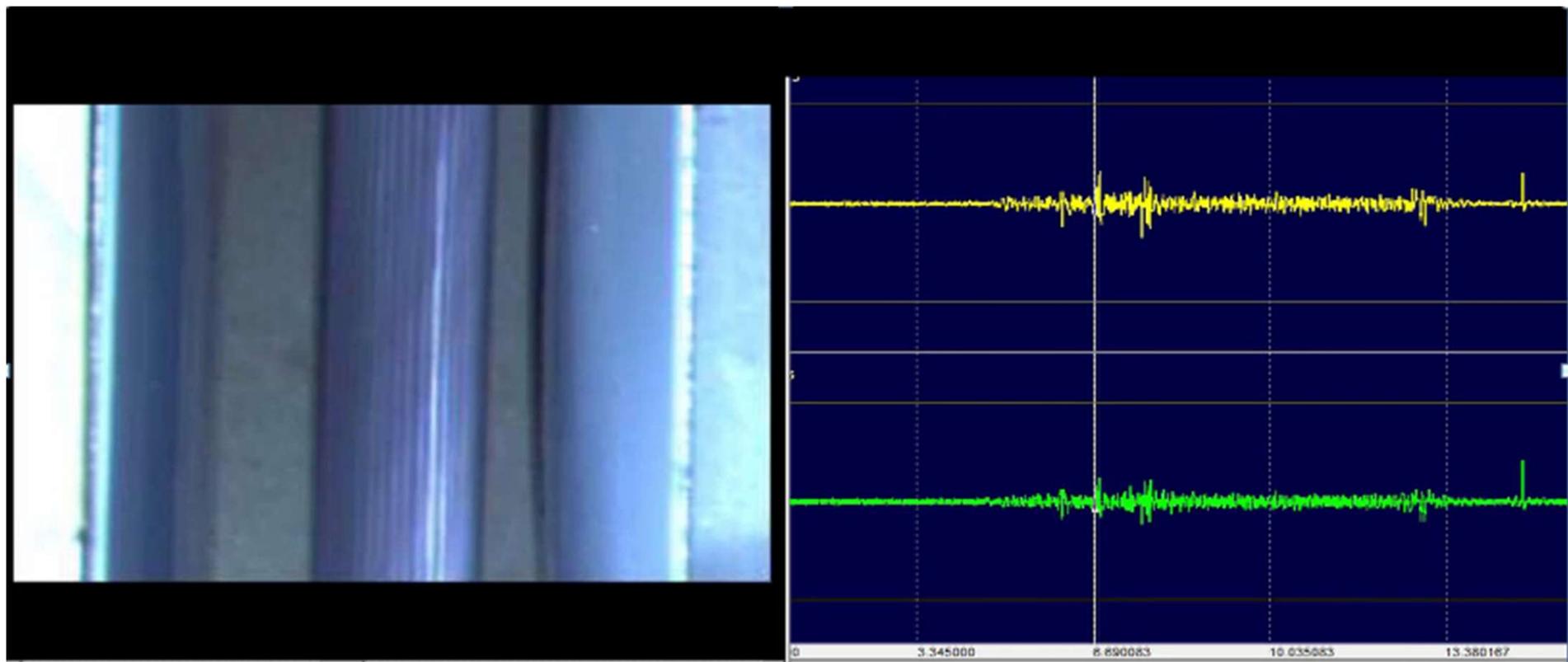
漏洩磁束型磁化器取付ワイヤロープ3本とセンサーアレイ位置関係図

磁気センサーアレイは各磁化器の中央部には位置されている。  
磁気センサー素子の数は12ヶ  
ロープとの磁化器表面からの非接触距離は、約 6 mm～ 8 mm程度

# 4-5. 非接触型磁化器のエレベーター試験塔での実験

## (4) エレベーター試験塔

ワイヤロープ3本の動作状況と磁気センサ波形の様子  
磁化器対向時のロープ挙動と磁気センサ波形(例)

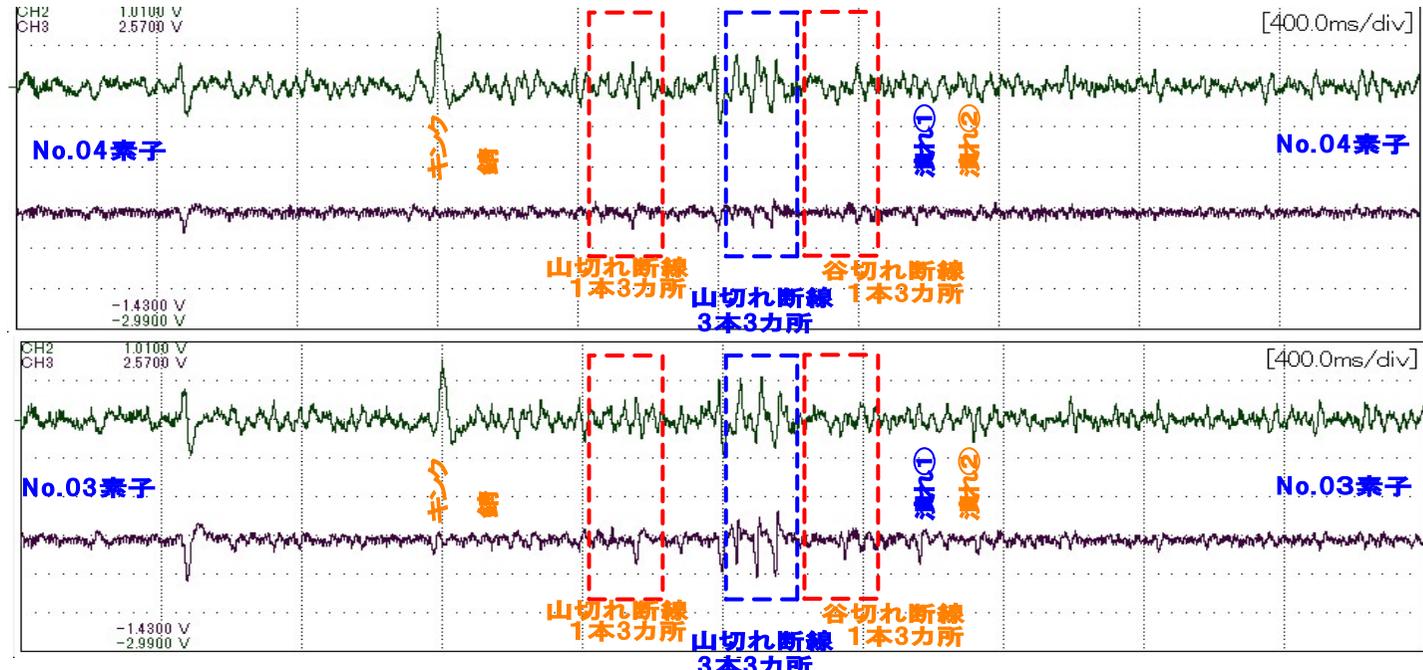


# 4-5. 非接触型磁化器のエレベーター試験塔での実験

## (5) エレベーター試験塔

### ワイヤロープ3本の磁気センサ波形代表例

エレベーター試験塔でのワイヤロープ3本での非接触磁化器の検出結果波形の波形例



漏洩磁束型磁化器取付ワイヤロープ3本とセンサアレイ損傷検出波形例

上記の波形例でA面、B面で波形の波高値の高さの違いは各磁化器表面からの非接触距離の違いによって生じる結果である。A面の磁化器表面の非接触距離がB面より少なかったためである。

# 4-6. 非接触型磁化器の試作結果のまとめ

## エレベーター試験塔での評価結果まとめ

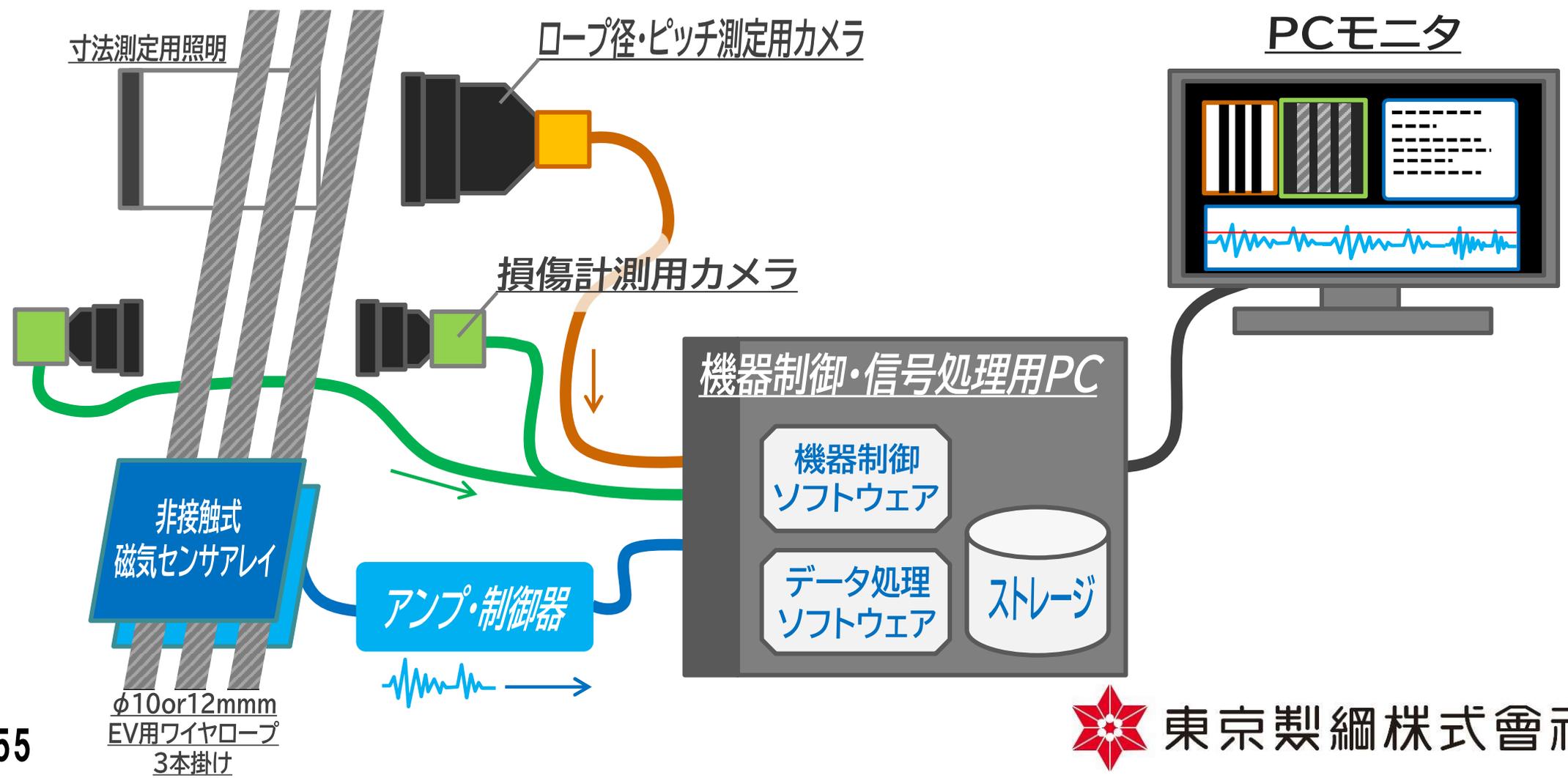
※判定基準 S/N 2以上

損傷形態	磁気センサーアレイの検出	備考
山切れ1本	△ 断線間隔が小さい場合検出が出来ない。断線に浮きなどがある場合は検出出来る可能性がある	断線間隔 浮きなど
山切れ3本	◎ 山切れ3本の検出はほぼ可能であった	
谷切れ1本	× 谷切れはほとんどの場合検出出来ない。 素線に浮きがある場合は検出出来る場合がある。	
錆	× 錆の検出は出来ない	赤錆
キンク	◎ キンクの度合いによるが検出可能であった	
潰れ	△ 潰れの大きさやロープの変形度合いにより検出の可能性はある	

エレベーター試験塔での設置ではロープ状態の関係で磁化器表面からの非接触距離は、約6mm～8mm程度のため感度が悪くなっている。（ロープと磁化器の接触は無かった。）  
 今後は、磁気センサの感度UP及び各素子感度均一化を考慮した設計や非接距離を小さくするなど検討を行う予定である。

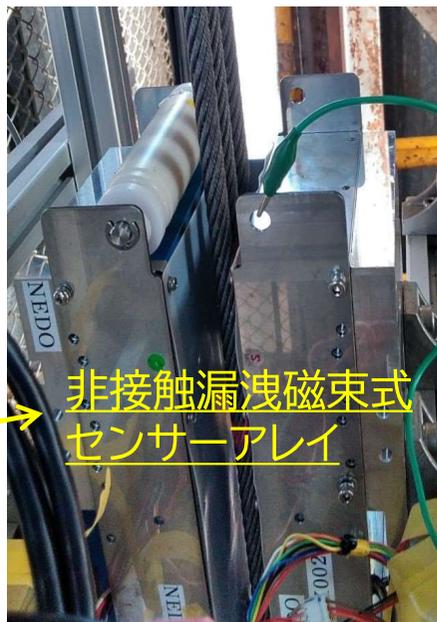
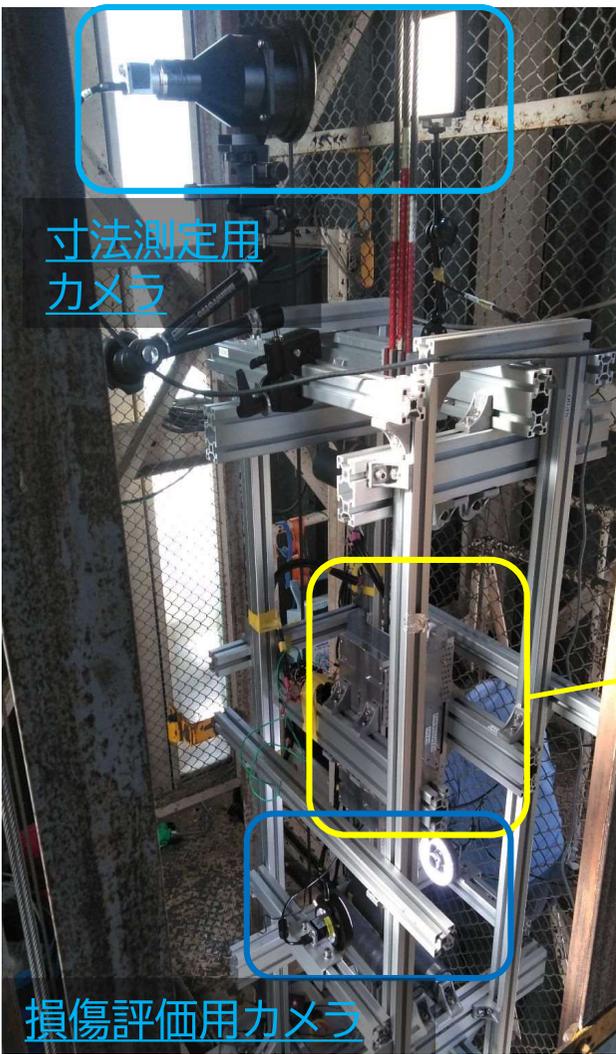
# 5-1. ハイブリッド型センサーの開発と評価

非接触式ハイブリッド型センサーのイメージ図



# 5-1. ハイブリッド型センサーの開発と評価

## (1) エレベーター試験塔(実機環境)での設置状況



### <3種のセンサーで同時計測>

- ・左図の位置関係でそれぞれデータを取得
- ・現時点では信号の同期が出来ていない

⇒各データの時間軸を位置情報に変換し、ビニールテープマーキング位置(模擬断線)を基準に位置を合わせ、同一箇所のデータを比較

# 5-1. ハイブリッド型センサーの開発と評価

## (2) 各センサーのデータの比較



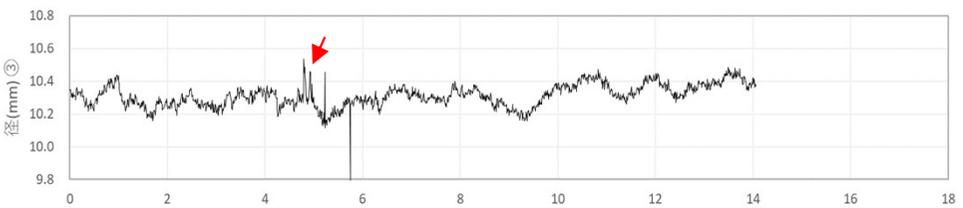
- ①画像による寸法測定
- ②画像による損傷評価
- ③非接触漏洩磁束式センサーを同一箇所を集約し、

φ10ワイヤロープ3本掛け、  
速度120m/minで  
ロープ径の測定、損傷検出が可能

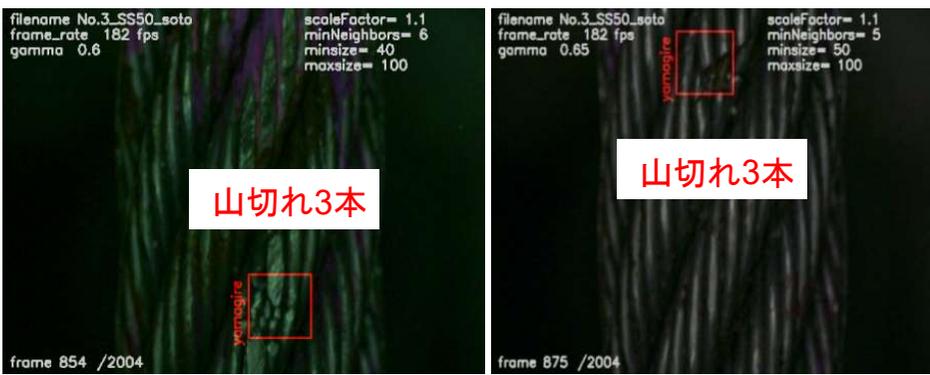
# 5-1. ハイブリッド型センサーの開発と評価

## (3) データの分析結果

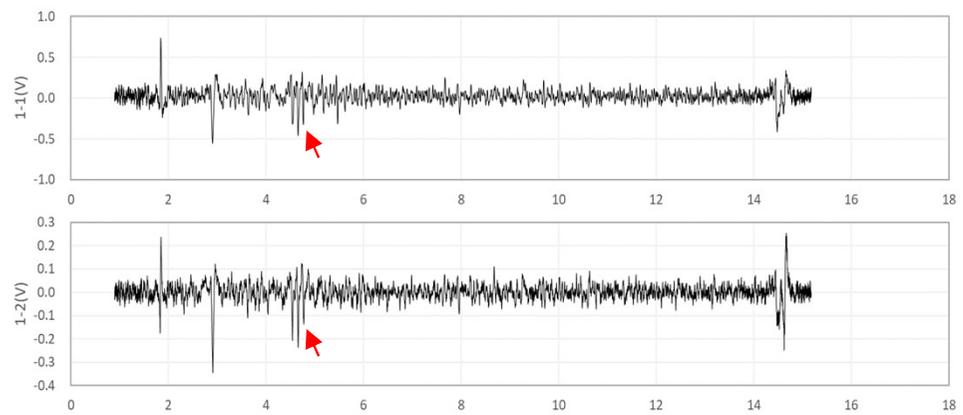
寸法



損傷



磁気



### “山切れ3本”

磁気、寸法、損傷それぞれのデータから位置を特定し、おおむね同じ位置で検出できていることを確認

← 画像が撮影され、処理プログラムで断線を検出

← 磁気(漏洩磁束)により、断線を検出

## 5-2. まとめ

- (1)実機環境で画像・磁気センサーでの測定を行い、ロープ径測定、損傷検出が可能であることを確認した
- (2)各センサーをハイブリッド化することにより、検出可能な項目が拡大し、その特定も可能になる

検出項目	画像(径)	画像(損傷)	磁気
ロープ径	◎	×	×
キンク	×	×	◎
錆	×	◎	×
山切れ1本	△	△	△
山切れ3本	△	△	◎
谷切れ1本	△※	×	△※
潰れ	△	×	△

※飛び出しなど  
形状の変化が  
見られた場合

- (3)今後は各センサーの最適化、小型化、一体化を進める  
また、速度や位置情報を取り込んでデータの同期を可能にする予定

本資料に関するお問い合わせは、以下までお願いします。

東京製綱株式会社 鋼索鋼線事業部 市場技術部

〒103-8306 東京都中央区日本橋3-6-2(日本橋フロント)

TEL (03)6466-7752 FAX (03)3278-6870

担当 古川 一平

e-mail: furukawa.ippei@tokyorope.jp

ホームページ：<http://www.tokyorope.co.jp/>