

# 海岸近接部において耐候性鋼材 (無塗装仕様)を使用する橋梁の環 境計測技術に関する研究

神戸大学大学院  
工学研究科市民工学専攻 橋本国太郎

# 研究背景

- 多くの耐候性鋼橋が建設されている
- 飛来塩分量が小さい場合(年平均0.05mdd以下), 耐候性鋼橋を無塗装で使用できる→**建設前の環境調査**
- **建設後**, 橋梁内に局所的に水, ゴミや飛来塩が溜まりやすい場所ができ易い(**悪い環境が生成され易い**)
- 定期点検時に腐食損傷が見つかった場合
  - 腐食環境評価→ドライガーゼ法による飛来塩分測定, 濡れ時間測定など
  - さびの状態(腐食状態)を評価する技術→目視, セロファンテープ試験, さび厚測定など
  - 次の定期点検までの間に腐食状態をモニタリングする技術→ACMセンサなど?

# 研究目的

- ① ドライガーゼ法に代わり付着塩分量計測と濡れ時間計測を行うことでより精度の高い腐食環境評価を行う手法の開発(WG1)
- ② 目視点検に代わり、ポータブル3Dスキャナとさび厚測定を用い、判定結果のばらつきをなくし高精度かつ簡易に腐食状態を評価する手法の開発(WG2)
3. 犠牲腐食材を用い厳しい腐食環境を簡易にモニタリングする手法の開発(WG2)

# プロジェクトメンバーと研究体制

- 神戸大学: 橋本国太郎 (PL)
- 京都大学: 鈴木康夫
- 株式会社横河ブリッジホールディングス  
荒川淳平, 池末和隆, 中辻亘, 鈴木克弥
- (株)セイコーウェーブ: 新村稔, 志田寛

研究統括(プロジェクトリーダー)  
神戸大学: 橋本国太郎

WG1: 腐食環境計測チーム

- 京都大学: 鈴木康夫
- 横河ブリッジホールディングス

WG2: モニタリング技術開発チーム

- 神戸大学: 橋本国太郎
- 横河ブリッジホールディングス
- セイコーウェーブ

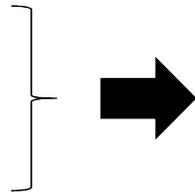
# 1. ドライガーゼ法に代わる付着塩分計測および濡れ時間予測による腐食環境計測技術の開発

# 研究の概要

## ・付着塩分量計測と濡れ時間計測による腐食環境評価法の開発

具体的には...

- ・ 付着塩分量計測
- ・ 濡れ時間計測



既設橋梁内の腐食環境  
評価法の開発

(1) 塩分量調査の概要

i) **直接桁を測る**場合

- ① 測定前→塩分を洗い流す
- ② 定期的に塩分を測定→測定後洗い流す

ii) **間接的に測る**場合

ワッペン試験のような試験体を設置し、定期的に分析



(2) 濡れ調査の概要:

i) **温湿度測定**による方法

計測結果を基にKuceraの予測式を用いる

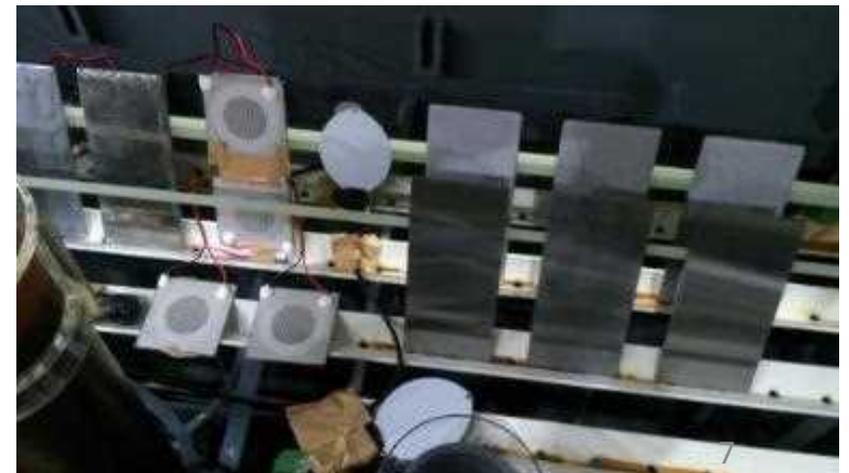
→湿度センサーを用いて直接濡れ時間を計測できないか？

ii) **ACMセンサー**による方法

# 腐食促進試験の実施

濡れ時間の計測方法  
腐食量と付着塩分量の関係を調査

- 複合サイクル試験機によってISO基準のS6サイクル\*の腐食促進試験を実施
  - \* 5%塩水噴霧(0.5h) → 湿潤(1.5h) → 熱風乾燥(2h) → 温風乾燥(2h)
- 湿潤時間や塩分濃度を変化させて実施
  - Case1: S6サイクル
  - Case2: 塩水濃度1%, 湿潤時間0.5h
- 計測項目
  - 濡れ時間(ACMセンサー  
葉濡れセンサー)
  - 温湿度
  - 腐食量, 付着塩分量



# 使用したセンサー類



ACMセンサー

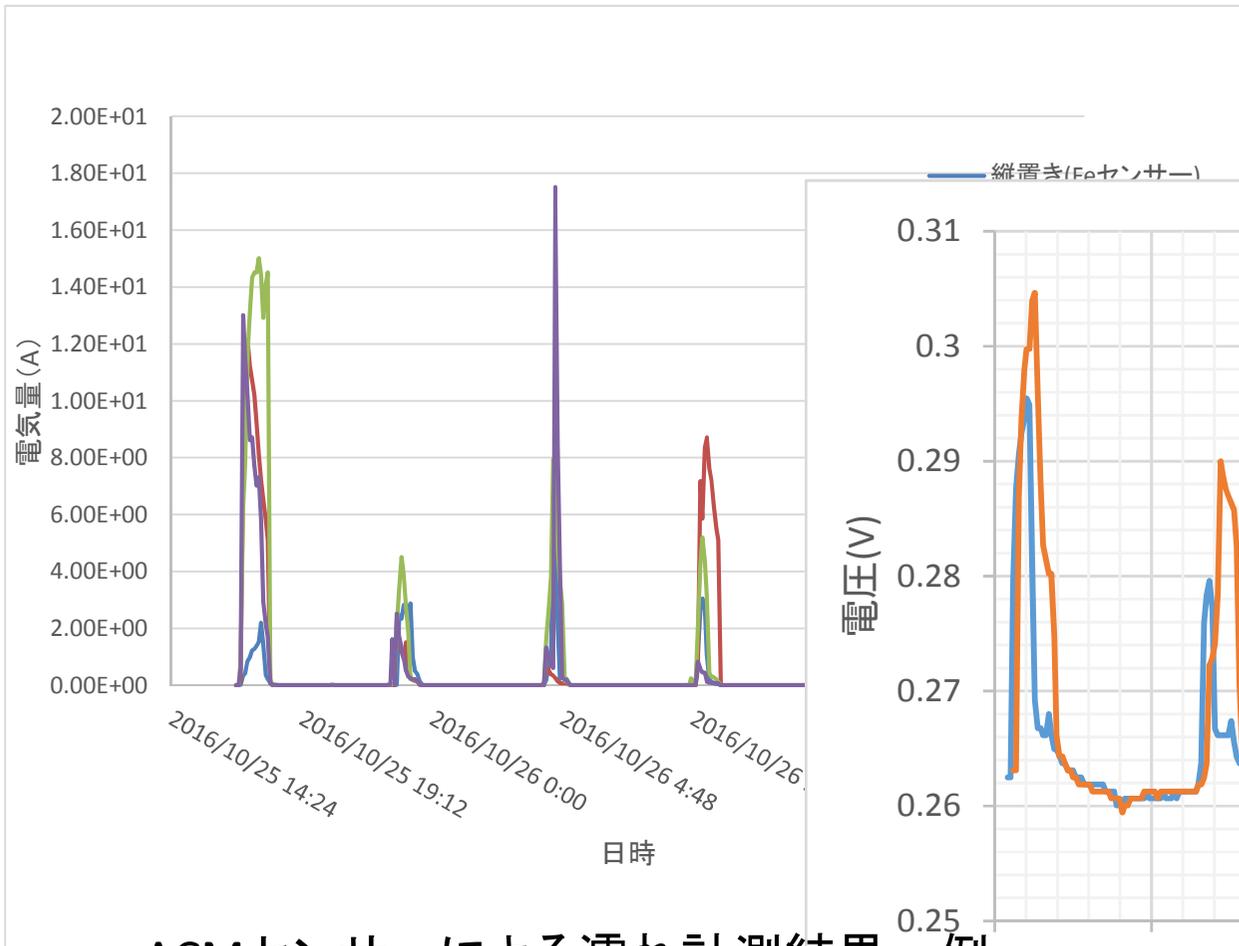


葉濡れセンサー

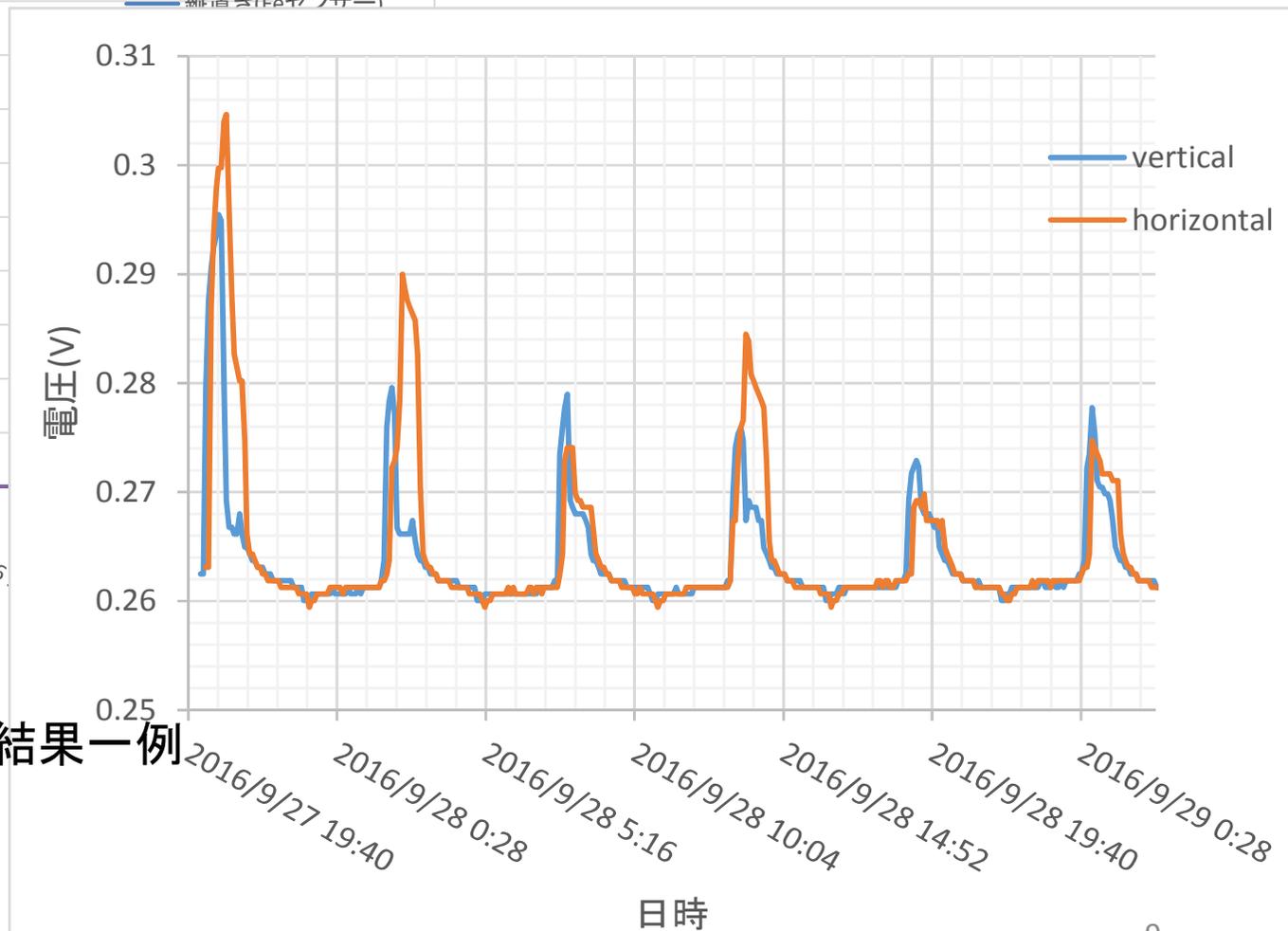


USB型温湿度ロガー

# 結果の一例



ACMセンサーによる濡れ計測結果一例

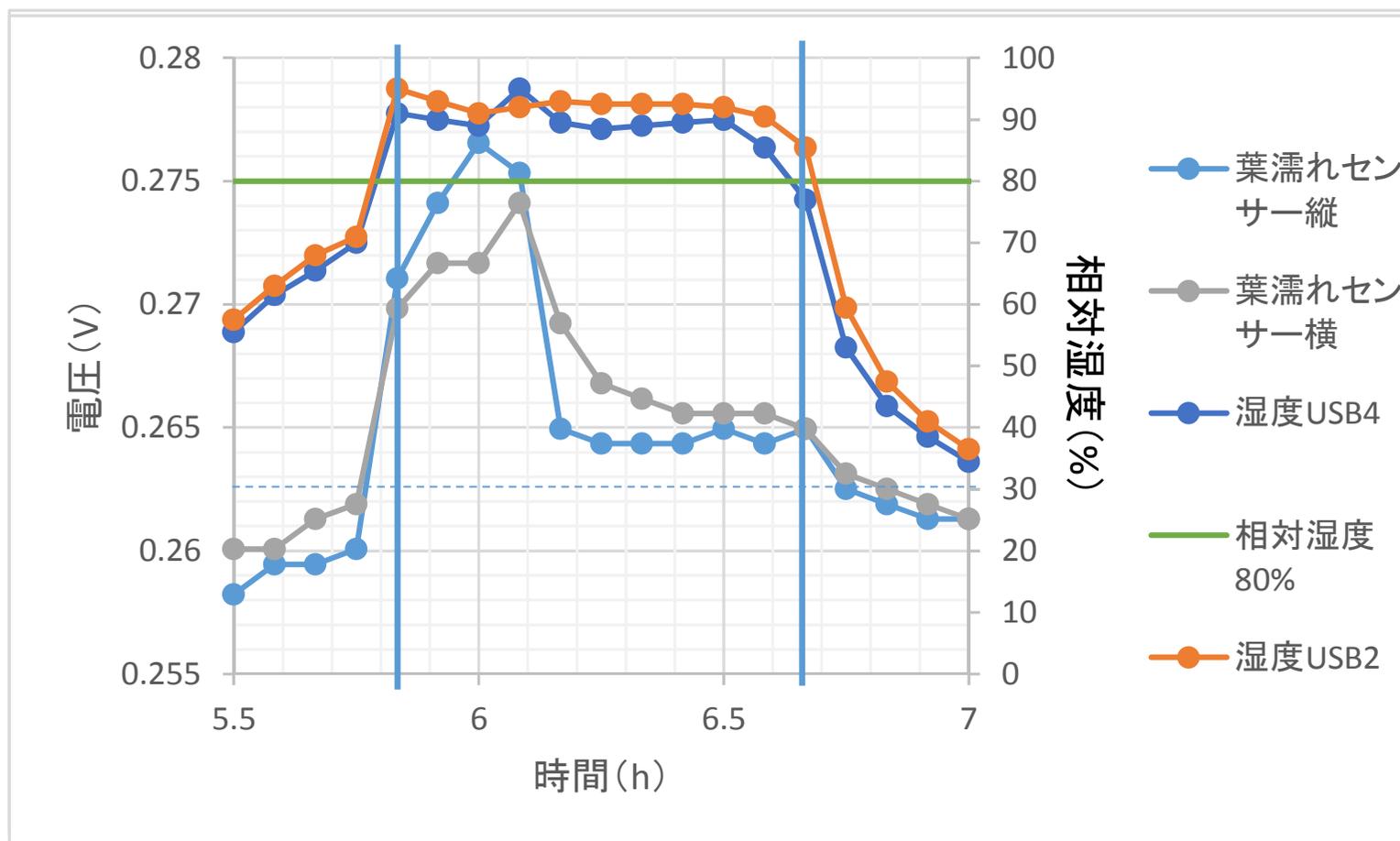


葉濡れセンサーによる濡れ計測結果一例

# 濡れ時間の算出方法

1. 気温 $0^{\circ}\text{C}$ 以上相対湿度80%以上の時間の足し合わせで濡れ時間を算出する. ここでは, 試験装置内に設置された温湿度計およびUSB温湿度ロガーによって測定された計測結果より算出する.
2. ACMセンサの出力(電流: $\mu\text{A}$ )が閾値以上となったときの時間数を足し合わせる.
3. 葉濡れセンサの出力(電圧: $\text{V}$ )が閾値以上となったときの時間数を足し合わせる.

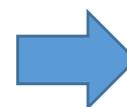
# 濡れ時間の算出方法



# 濡れ時間算定結果

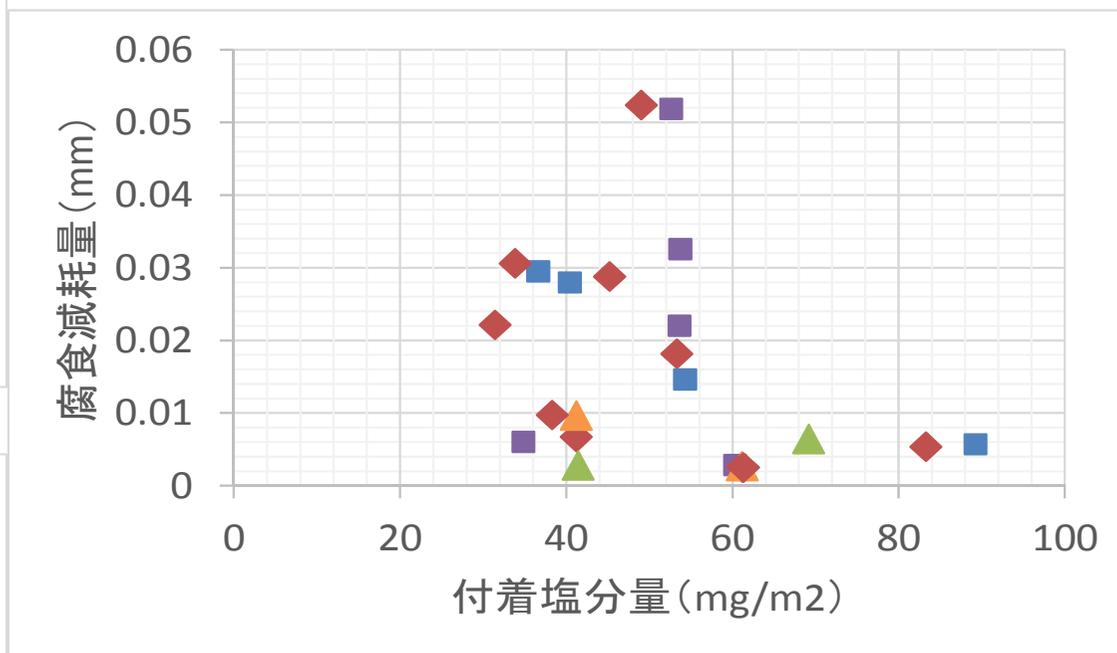
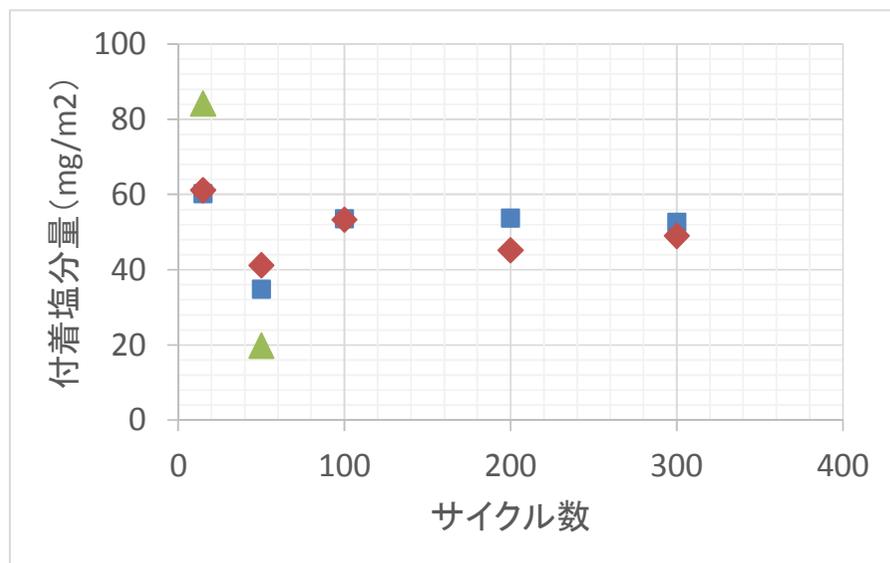
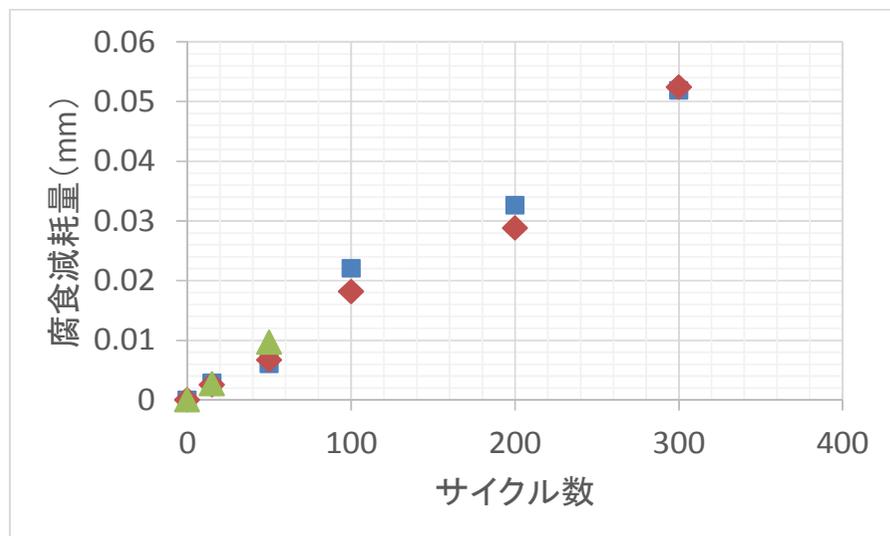
	TOW <sub>ISO-G</sub>	TOW <sub>ACM</sub>	TOW <sub>ISO-I</sub>	TOW <sub>LWS</sub>
	試験機内温湿度計	ACMセンサ	USB温湿度ロガー	葉濡れセンサ
Case 1 (100サイクル中 湿潤時間200時間)	179	FeV : 123 ZnV : 105 FeH : 180 ZnH : 186 Ave : 148.5	Non	V : 219 H : 235 Ave : 227.0
Case 2 (200サイクル中 湿潤時間200時間)	180	FeV : 113 ZnV : 140 FeH : 105 ZnH : 189 Ave : 136.8	USB1(V) : 196 USB2(V) : 189 USB3(V) : Non USB4(H) : 182 Ave : 189.0	V : 213 H : 215 Ave : 214.0

- ACMセンサーと葉濡れセンサーとの濡れ時間に大きな違いが見られた
- 温湿度から算定すると両センサーの間くらいの値で、設定している湿潤時間とほぼ同じ



ACMセンサーは局所的な影響が大きいのか？

# 腐食減耗量と付着塩分量との関係



- 腐食量はサイクル数とともに増加
- 付着塩分量はあるサイクルから一定となる
- 両者に関係性は見られなかった



湿潤時に塩分が洗い流されている可能性あり

# 現地暴露試験の準備（ワッペン試験法概要）

## 目的

- 紀勢線の腐食環境調査
- さびサンプルとしての利用

## 試験内容

### ①設置

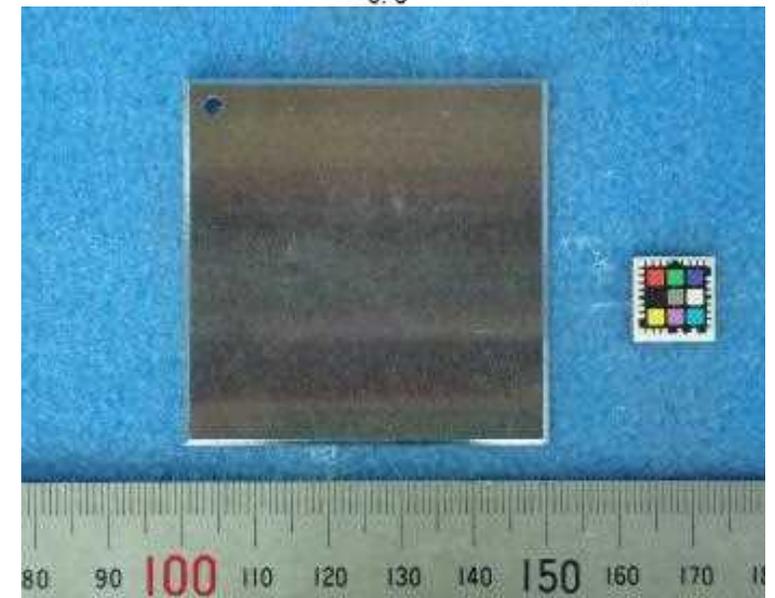
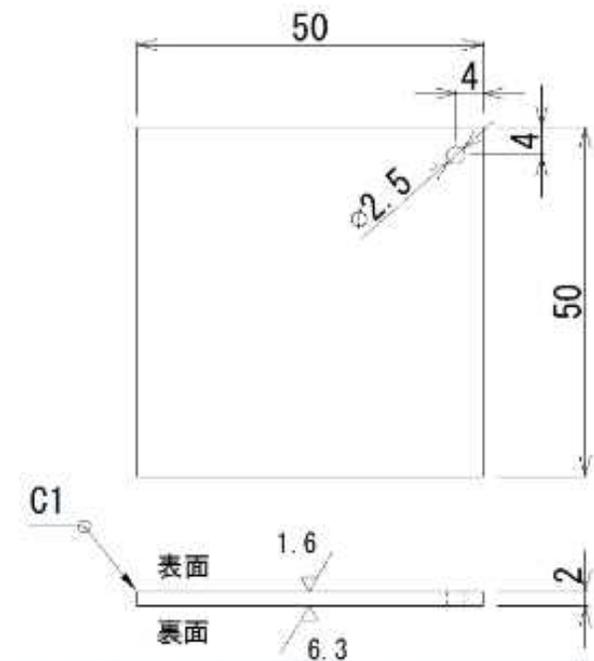
- 試験片鋼種：JIS耐候性鋼（無塗装仕様）
- 桁端部または中間支点部の主桁ウェブおよび下フランジに設置
- 温湿度ロガーも設置
- 落下防止処置を施し，第三者被害を避ける

### ②回収

- 設置後1年，1年半，2年後に回収予定

### ③分析

- 曝露面のさび層を除去し，試験前後の質量差から腐食減耗量を算出
- 腐食量の将来予測
- 濡れ時間や付着塩分量との関係を調査



# 調査橋梁

路線名		橋梁名	さびサンプル 収集	ワッペン 試験	
近畿自動車道 紀勢線 (松原那智勝浦線)		稲成川橋	○	○	
		平田高架橋	○	○	
		峠橋	○	○	
		新高瀬川橋	○	○	
		田ノ口高架橋	○	○	
		材木谷橋	○	○	
		和深川橋	○	○	
一般 国道		42号 日置小橋	/	○	
		24号	二見高架橋	○	/
			橋本東IC Aランプ橋	○	/
161号		南比良第二高架橋	○	/	

## 【さびサンプル収集】

外観評点1～5の様々な状態のさびが存在する橋梁を選定

## 【ワッペン試験】

試験片の設置・回収が容易な橋梁を選定



# ワッペン試験状況写真(一例)

【橋梁名】新高瀬川橋	【路線名】近畿自動車道松原那智勝浦線	【所在地】白浜町十九洲地先
【橋梁形式】鋼2径間連続合成細幅箱桁橋	【供用年月】2015年7月	【飛来塩分量】年平均0.026mdd, 月最大0.045mdd(12月)
【対象箇所】PN1中間支点部G3桁下フランジ内・外側上面		

【ワッペン試験片設置写真】



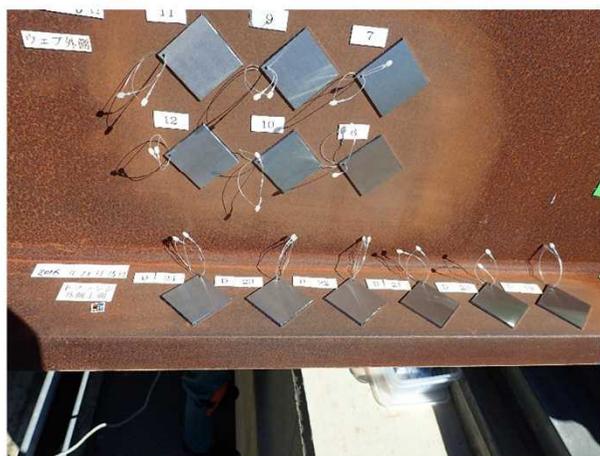
【落下防止設置写真】



【温湿度ロガー設置写真】



【ワッペン試験片設置写真】



【落下防止設置写真】



【温湿度ロガー設置写真】



# 今後の予定

- 実濡れ時間算定方法の検討
- 腐食量と濡れ時間や表面塩分量との関係を示す.



- 追加で腐食促進試験を実施
- 腐食促進試験の結果と現地曝露試験(ワッペン試験)との結果を比較

## 2. 3Dスキャナとさび厚測定を用いた腐食状態評価法の開発

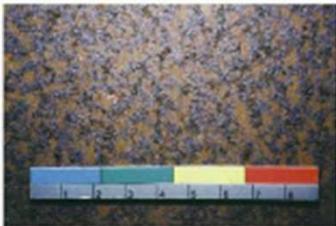
# 研究の概要

耐候性鋼のさび外観評点、ならびに今後の処置の目安を示します。

- 外観評点3～5：良好であり、そのまま引き続き使用できます。
- 外観評点2：さび外観の変化を継続観察する必要があります。
- 外観評点1：板厚測定し板厚減少量が大きく設計応力に近い将来に問題になると予測される場合は補修が必要です。

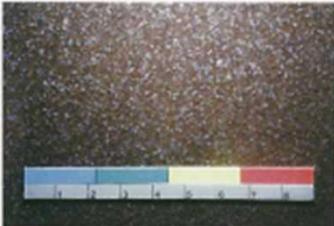
各評点の代表的なさび外観(架設後10年以上経過した橋梁での事例)<sup>(\*)</sup>

外観評点5



さびの量は少なく、比較的明るい色調を呈する。  
[今後の処置の目安：不要] (約200 $\mu$ m未満)

外観評点4



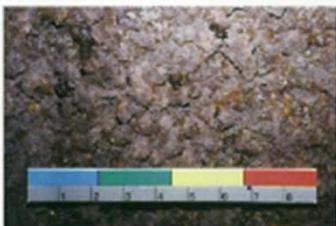
さびの大きさは1mm程度以下で細かく均一である。  
[今後の処置の目安：不要] (約400 $\mu$ m未満)

外観評点3



さびの大きさは1～5mm程度で粗い。  
[今後の処置の目安：不要] (約400 $\mu$ m未満)

外観評点2



さびの大きさは5～25mm程度のうろこ状である。  
[今後の処置の目安：経過観察要] (約800 $\mu$ m未満)

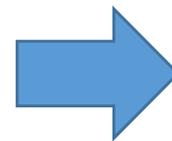
外観評点1



さびは層状の剥離がある。  
[今後の処置の目安：板厚測定] (約800 $\mu$ m超)

\* ( ) 内数値は外観評価の補助手段として測定したさび厚の目安を示す。

さび外観評点の事例



3DSL-Rhino

## 3Dスキャナ

【用途】  
さび面の凹凸計測

【分解能】  
XY: 400  $\mu$ m  
Z: 50  $\mu$ m以下

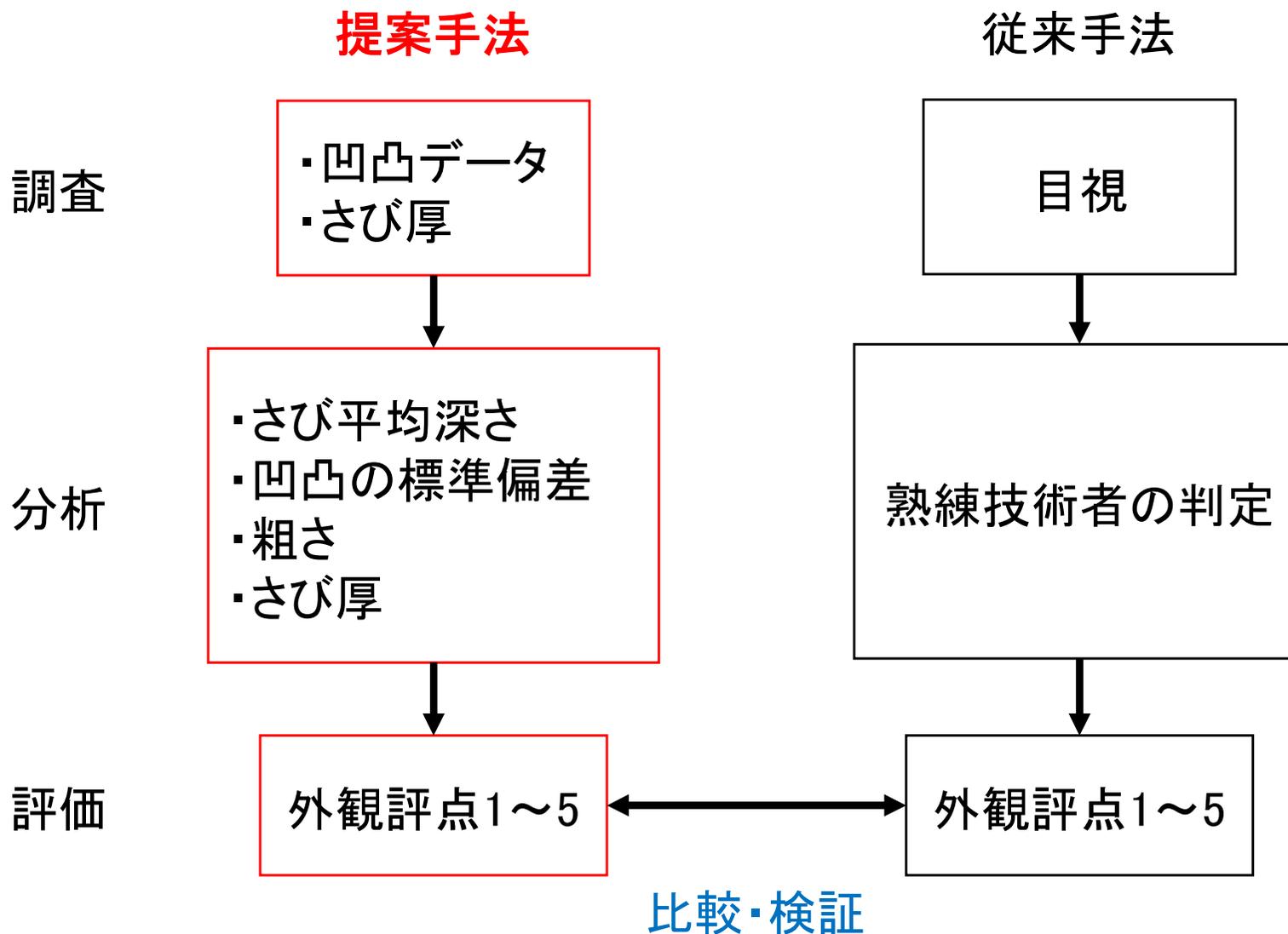


## 電磁膜厚計

【用途】  
さび厚測定

【分解能】  
0～100  $\mu$ mで0.1  $\mu$ m  
100～1500  $\mu$ mで1  $\mu$ m

# 提案手法と従来手法



# 調査橋梁

路線名		橋梁名	さびサンプル 収集	ワッペン 試験	
近畿自動車道 紀勢線 (松原那智勝浦線)		稲成川橋	○	○	
		平田高架橋	○	○	
		峠橋	○	○	
		新高瀬川橋	○	○	
		田ノ口高架橋	○	○	
		材木谷橋	○	○	
		和深川橋	○	○	
一般 国道		42号 日置小橋	/	○	
		24号	二見高架橋	○	/
			橋本東IC Aランプ橋	○	/
		161号	南比良第二高架橋	○	/

## 【さびサンプル収集】

外観評点1～5の様々な状態のさびが存在する橋梁を選定

## 【ワッペン試験】

試験片の設置・回収が容易な橋梁を選定



# さびサンプル収集 使用計測機器



## 電磁膜厚計

【用途】  
さび厚測定

【分解能】  
0~100  $\mu\text{m}$  で0.1  $\mu\text{m}$   
100~1500  $\mu\text{m}$  で1  $\mu\text{m}$



## 3Dスキャナ

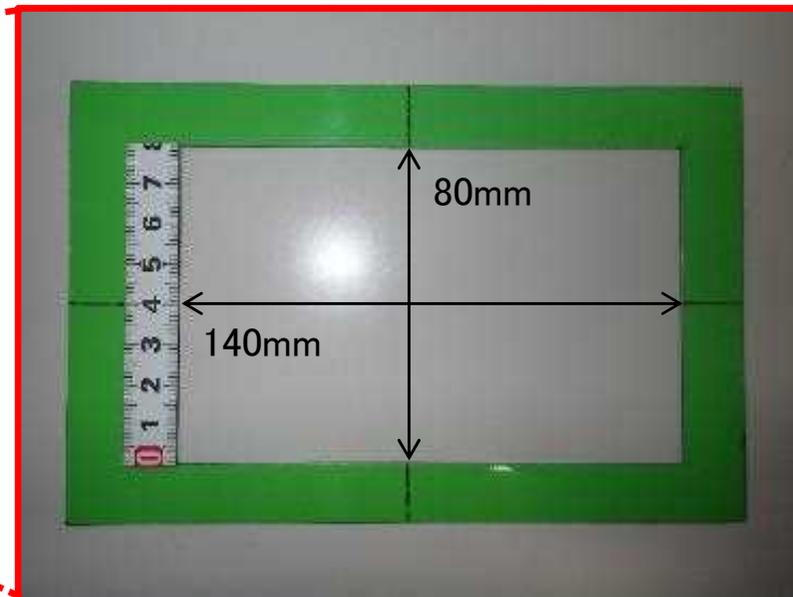
【用途】  
さび面の凹凸計測

【分解能】  
XY: 400  $\mu\text{m}$   
Z: 50  $\mu\text{m}$ 以下

計測状況



枠内を計測



# 3Dスキャナ

## 特徴

- 構造化光法(構造化光位相シフト法)を採用、近接・非接触計測用
- 300fps 高速カメラ採用; 手ぶれ対応強化
- 炭素系暗色腐食でも計測可能 (100fps mode)
- 手元トリガーボタンで、3種類の計測モード
- 現場で使える堅牢性 (IP67; 防塵防水、耐落下)
- 解析・評価用ソフトウェアの一体化

# 3Dスキャナ

- **3DSL-Rhino シリーズ Major spec / 主な仕様**

## Rhino-01

- 対物距離 : 350mm ~ 470mm
- 測定画角 : 150mm x 270mm @ 450mm
- 分解能 : 0.4mm(縦横), 0.05mm(奥行き)

## Rhino-02

- 対物距離 : 160mm ~ 250mm
- 測定画角 : 80mm x 140mm @ 200mm
- 分解能 : 0.2mm(縦横), 0.03mm(奥行き)

## 共通

- 30万画素、300fpsモノカメラ搭載
- 測定と解析の対象 : 配管表面・平板表面の腐食、配管損傷(凹み)
- 環境仕様 : IP67(防水、防塵)、耐衝撃・耐落下仕様
- 動作温度 : -10度C ~ +40度C

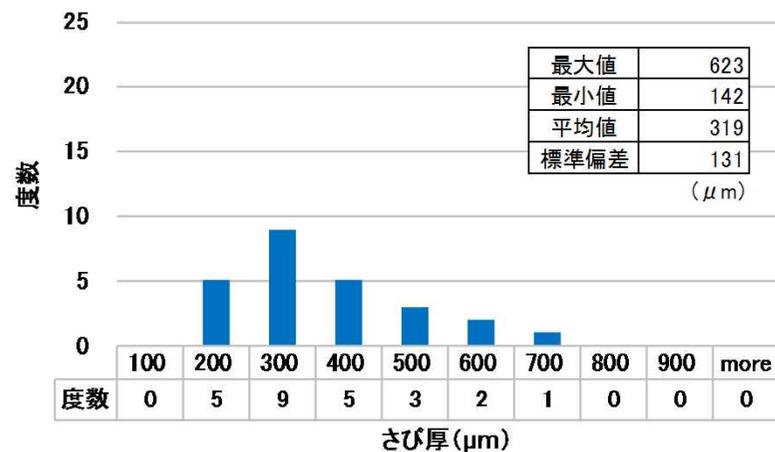
# さびサンプル計測結果(一例)

【橋梁名】南比良第二高架橋	【路線名】一般国道161号	【所在地】滋賀県大津市南比良
【橋梁形式】10径間連続溶接非合成鉄桁橋	【供用年月】2000年3月	【飛来塩分量】-
【対象箇所】A2桁端部主桁(1-1)	【外観評点】3	

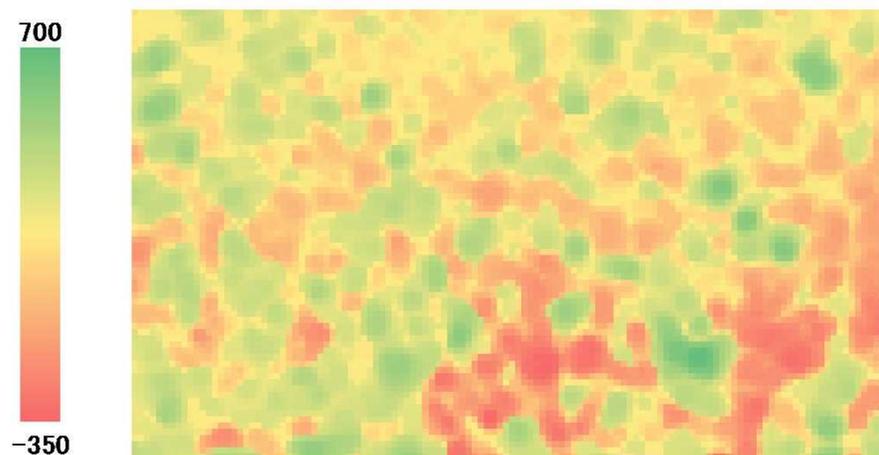
【さび評価対象表面】



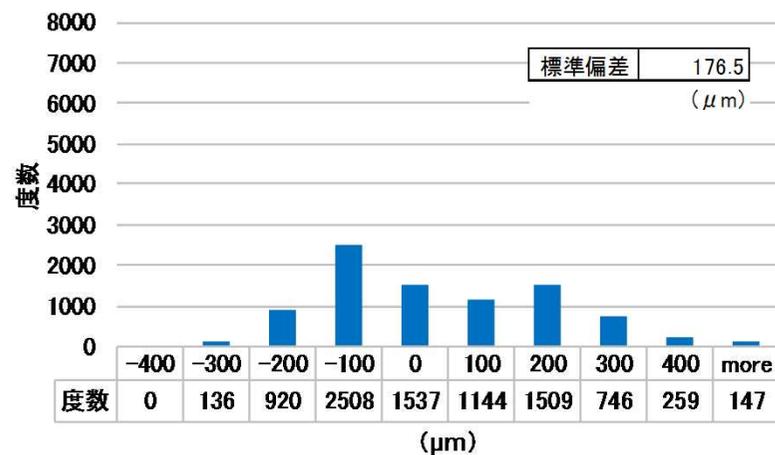
【さび厚ヒストグラム】



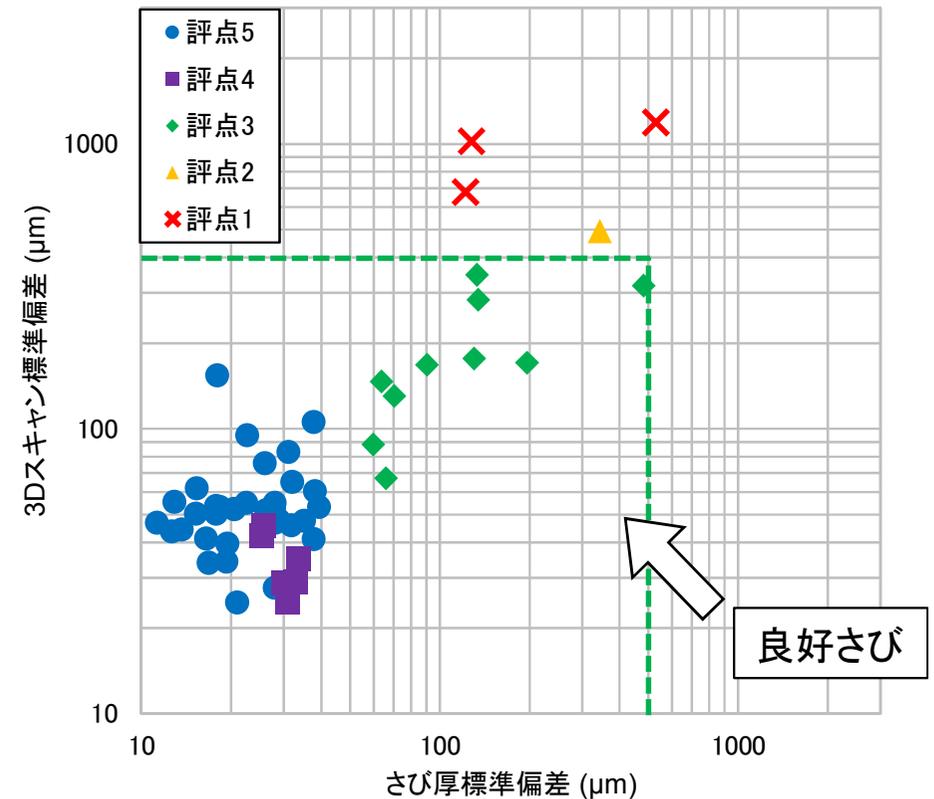
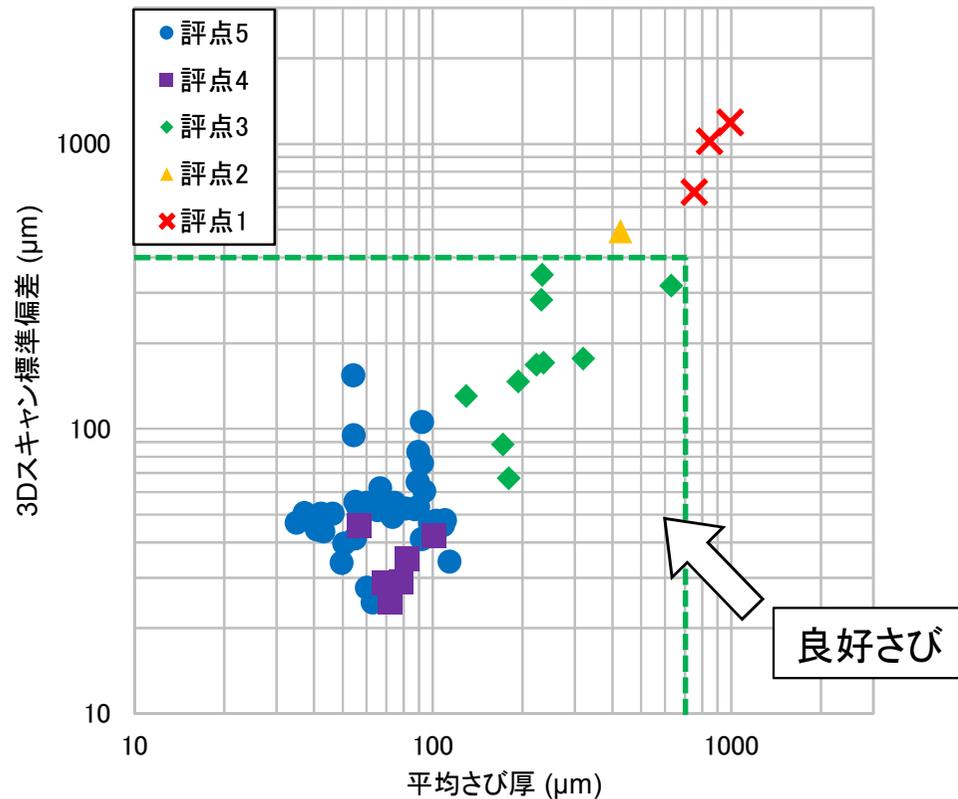
【3Dスキャンコンター図】



【3Dスキャンヒストグラム】



# 計測結果とさび評価の分布(全体)



- さび厚測定値と3Dスキャン計測値の相関関係が確認された。
- さび厚と3Dスキャンの計測値を使えば、さび外観の評価が可能となる見込みを得た。
- 低評点サンプルは、さび厚が一部計測不能であったため、さび厚標準偏差は低くなる傾向にある。

# 今後の予定

- 外観評点1～2のさびサンプルを中心に追加収集  
→画像処理システムの構築の検討
- ワッペン試験片の回収, 分析, 評価
- 紀勢線におけるさびサンプル収集

以上, ご清聴ありがとうございました