

新都市社会技術融合創造研究会 研究成果報告会

建設DXにおける「トンネル点検支援技術、斜面
防災・減災」の取り組み

トンネル点検支援技術の高度化に関する研究

1.研究概要（本研究成果の要約）

プロジェクトリーダー
日本工業大学 機械工学科 准教授
石川 貴一郎

1

1. 研究概要

(1) 研究名称: トンネル点検支援技術の高度化に関する研究

(2) 研究項目:

研究の内容	単位	数量
非破壊検査技術によるトンネル点検支援技術の高度化	式	1
AI技術活用による健全度診断の効率化・判定精度の向上	式	1
トンネルデータベースの有効活用検討	式	1

(3) 研究期間: 2018年10月 1日～2021年3月31日（3箇年）

(4) 発注者: 国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所

(5) 研究体制: 産学官メンバー（代表者: 石川貴一郎）

区分	名称	摘要
リーダー	石川貴一郎 日本工業大学	
オブザーバー	大西有三 京都大学名誉教授	
学	岡山大学大学院環境科学研究科 関西大学社会安全学部 早稲田大学理工学術院基幹理工学部	西山教授 小山准教授 天野教授
産	システムリサーチ(株)、(株)ウエスコ、(株)ウオールナット、 応用地質(株)、(株)オリエンタルコンサルタンツ、計測検査 (株)、(株)建設技術研究所、(株)鴻池組、国際航業(株)、 (株)ニュージェック、パシフィックコンサルタンツ(株)、三井 住友建設(株)、三菱電機(株)、ライカジオシステムズ(株)	
官	国土交通省近畿地方整備局道路部、近畿技術事務所、(一 般)先端建設技術センター、(株)高速道路総合技術研究所、 (一般)日本建設機械施工協会、(一般)近畿建設協会	

研究目的

非破壊検査技術に代表されるトンネル走行型計測を効果的な支援技術をいかに高度化して、健全性診断に活用し、社会実装化に向けて、より有用な道路トンネルマネジメント手法を確立する。

診断結果の精度向上、点検支援技術の効果・有用性を実証

変状原因の外力・材料劣化、進行性の評価法の確立とマニュアル化

活用範囲、精度、運用方法の明確化

スクリーニングにより打音・触診箇所の明確化

点群データから得られる正確な3次元形状データ活用方法の明確化

現状で直面する課題に対する改善策として結果を取りまとめ、さらに飛躍した合理的かつ効率的なトンネルマネジメントを実施していくことを目的とする。



3

研究概要

研究内容

研究項目	目的	2018年度	2019年度	2020年度
①非破壊検査技術の有効活用によるトンネル点検支援技術の高度化	- 変状原因(外力 or 材質劣化、進行性)の評価法の確立とマニュアル化 - 活用範囲、精度、運用方法の明確化	<u>支援技術の明確化</u> ・変状種別、精度 ・個人差、バラツキ <u>検出精度向上検討</u> ・レーザ点群の特徴 ・点群からの特徴量の抽出 走行型計測機器の選別、計測方法、データ取得方法、解析方法、レーザ精度検証	<u>レーザ計測検出能力、精度検証</u> ・実トンネル実証試験・レーザ計測の課題 ・断面計測精度 ・速度による誤差精度 ・再現性検証	<u>レーザ計測検出能力、精度検証</u> ・実トンネル補足検証 ・レーザ計測評価法実装化検討 ・画像新技術の評価 ・うき検出検討 ・支援内容の検証・確立、施工時の活用 ・運用マニュアル ・コスト縮減、標準仕様
②画像・計測データへのAI技術活用による健全度診断の効率化・判定精度の向上	支援技術によるスクリーニングにより打音・触診箇所の明確化	<u>AI診断の効率化・精度向上検討</u> ・走行型計測の課題 ・トンネル構造物点群の抽出手法の試行 課題の明確化	<u>AI診断の効率化・精度向上検討</u> ・入力ツールの開発 ・実トンネルにおける入力作業 AIによる健全部の診断、スクリーニング技術の開発	<u>適切な教師データによるAI学習</u> ・変状、展開図、判定をセットにして属性付与
③i-Construction推進に向けたトンネルDBの有効活用検討	点群データから得られる正確な3次元形状データ活用方法の明確化	<u>既設トンネルデータを用いた画像解析</u> ・計測の実施、解析 誤差を適正化した高度解析技術による変形評価法(位置情報・差分解析)	<u>位置推定手法の開発</u> ・スキャンマッチング活用における誤差分布	<u>レーザ計測検出能力、精度検証</u> ・正しい中心軸の決定 ・3次元計測の最適化検討(SLAM活用) ・位置情報の有効活用

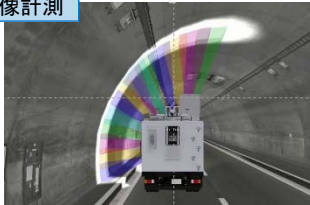
4

トンネル現況の・デジタル化技術の整理 ・データ解析技術の検討・試作

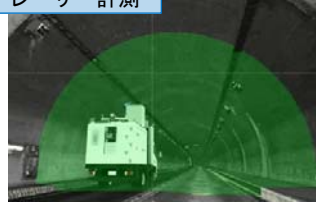
デジタル化技術

走行型計測

画像計測



レーザー計測

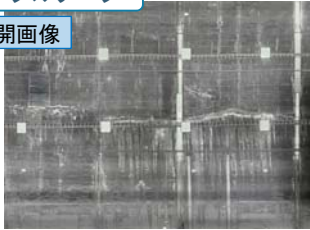


レーダー計測

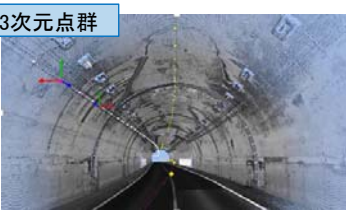


デジタルデータ

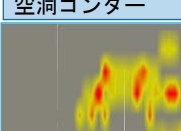
展開画像



3次元点群



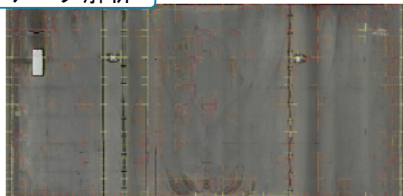
空洞コンター



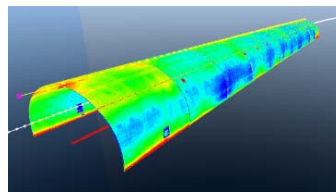
空洞箇所可視化



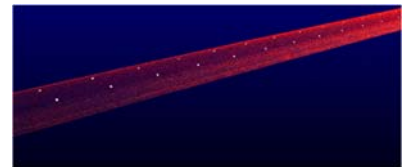
データ解析



CNNによる正常箇所解析



変形モード解析



LiDARスキャンマッチングによる点群位置補正

5

実トンネルにおける検証実験 比較対象機種

計測



速度	回数
20km/h	往復2回
40km/h	往復4回
60km/h	往復2回

検証断面



検証点、マーカ設置

評価用データの計測

断面計測

P40, BLK360
+ TS基準点測量



移動体計測(既存技術)

MS60, ProScan

TSによる
外部トラッキング



新規開発手法

SLAM
スキャンマッチング
MIMM+OS1



SLAM/GNSS/IMU複合

VLP-16
STIM300
GNSS



車載計測
GNSS/IMU複合航法
Pegasus2



MIMM



歩行計測

SLAM
GNSS/IMU
複合航法

Pegasus
Backpack



6

実トンネルにおける検証実験 比較対象機種

Reference



Leica ScanStation
P40
基準点より3D測量



R1年度



MIMM 90°

Test Case



Pegasus II 40°



MIMM+OS1
SLAM スキャンマッチング

R2年度

MIMM+SLAMでの精度検証



MIMM-R



Pegasus II 90°



MIMM-R+OS1



MMS-D



MIMM-S Z+F



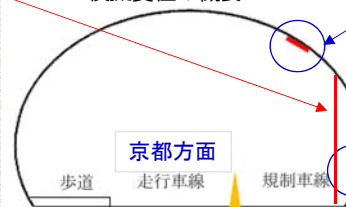
計測状況

画像計測の検証も実施する。
(一般車両搭載、近赤外、MMS-D)

広範囲な変形を評価する
目的でシートを設置する。
(B断面近傍に単管パイプを立て掛け
上部をアンカーで固定)



模擬変位の概要



合板サイズ：
180×90（アンカー
固定）
50×50、20×100、
20×20
厚さ：10～15mm

7

トンネルデータ解析における重要点

外力性、進行性判断のためには、位置に紐づけられたデータを時系列で比較し、その変化を捉えることが重要

計測位置の再現性、位置推定性能が良い方が自動化が容易になる

- ・ 位置補正機能の有効性の検証
- ・ 現行の走行型計測技術に使用される航法装置のトンネル内特有の技術的課題への解決方法の提案

走行型計測で取得されるデータ解析の自動化

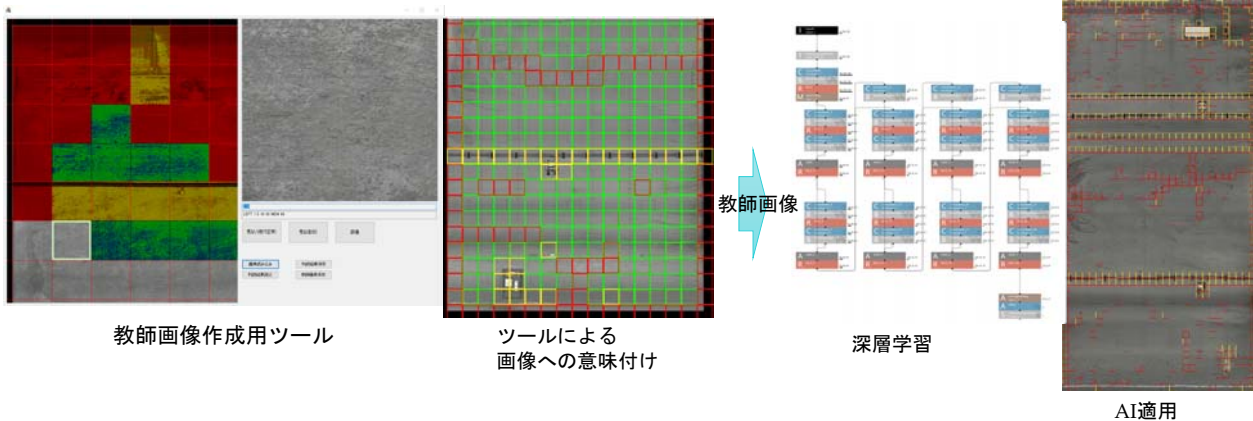
大量データの取り扱い。データへの自動意味付け→AI開発

将来に向けて、データの互換性、データ管理が課題

8

AIによるスクリーニング

- 意味付けされた大量の学習データが必要
→ 変状のデータは集まり難い → 正常箇所を見つける。
- AI開発者には変状、正常の区別がつかない。
→ トンネル点検従事者によるAI開発への積極的関与が必要
点検従事者によるデータ収集ツールの開発と提供

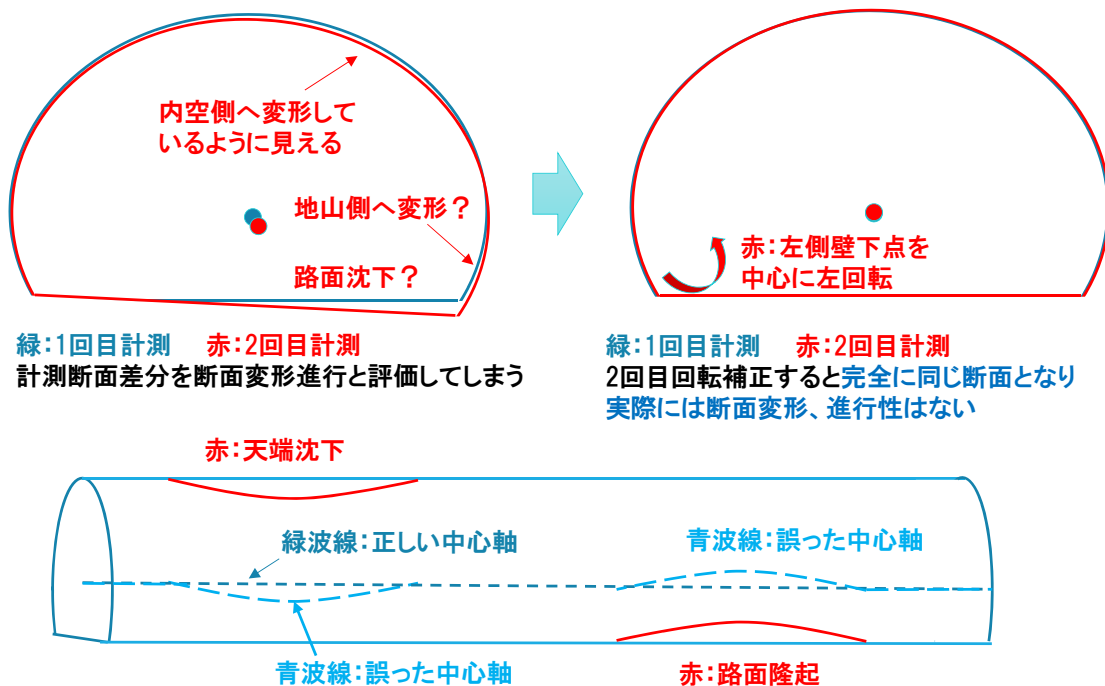


9

走行型レーザ計測の課題

誤差を適正化した高度解析技術による変形評価法の検討

複数計測時の衛星不可視下でのトンネル中心軸、断面回転の課題

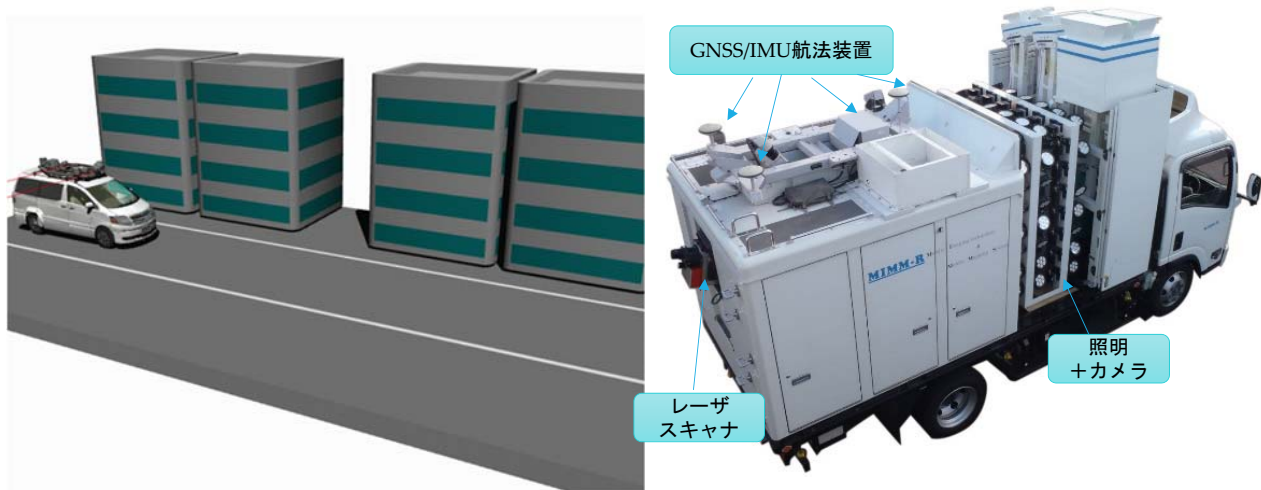


天端沈下、路面隆起(沈下)などの影響を受け、中心軸を誤ってしまう。2回計測の正しい重ね合わせができない。正しい変形進行性が評価できない。

10

走行型計測に主に使用される航法装置の課題点

- ・システムの位置を求めるための航法装置，周辺の環境を計測するための属性センサから構成される．
- ・自分の位置を計測しつつ，そこから周辺までの距離などを計測することで三次元復元する．
- ・高精度に計測するためには，レーザ発振時のセンサの位置姿勢を正確に計測する必要がある．移動計測における全体(絶対精度)の誤差は**位置姿勢推定**の性能で決まる．断面計測精度(相対精度)はレーザスキャナの性能に因る．



11

走行型計測に主に使用される航法装置の課題点

- ・ GNSS/IMU複合航法 GNSS/INS複合航法 GNSS/DR複合航法

GNSSの観測更新によりデッドレコニング航法による誤差を補正する方法．
GNSSが使えない状況ではデッドレコニング航法単体の性能と同じになる．

GNSS→衛星測位技術による位置測位，世界測地系で誤差数cmで位置が測位できる
一方で，位置測位するためには，4基以上(経験的に理想は7基以上)の衛星を同時に観測する必要がある．
空が十分に開けていない場所では，使えない．当然トンネル内でも使えない．



空が開けた環境
GNSSが使える場所



都心部
安定して位置測位できない場所



林道



室内



GNSSが使えない場所

デッドレコニング

IMUによって計測された姿勢と，オドメータによって計測したタイヤの回転数から積分により，位置を推定する方法．(目をつぶって歩くのと同じ)

IMUの誤差やオドメータの誤差が累積する．誤差量は距離や時間によって大きくなる．



IMU



オドメータ

$$\mathbf{P}_{k+1} = \mathbf{P}_k + \begin{bmatrix} v_k \cos \theta_k \\ v_k \sin \theta_k \\ \omega_k \end{bmatrix} \Delta t$$

$$\mathbf{P}_k = [x_k \ y_k \ \theta_k]^T$$

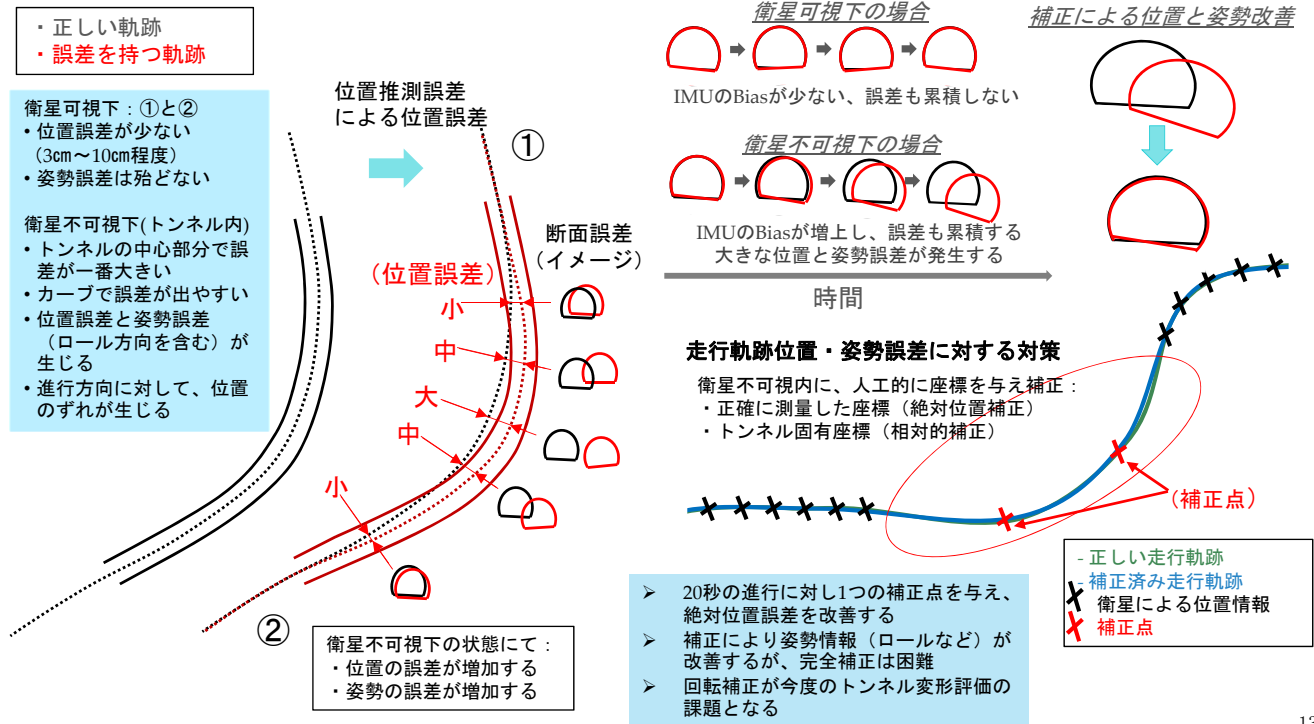
v_k : 速度、
 θ_k : 姿勢角
 ω_k : 角速度

12

時系列データ解析に向けた位置情報の有効活用

回転補正、縦断方向の位置補正の実用化検討

レーザー位置精度に影響を与える要因と対策

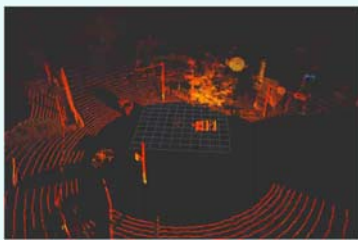


13

スキャンマッチングによる位置補正

OUSTER OS1

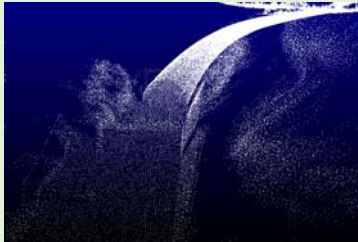
- ・ 3次元距離センサ
- ・ IMU



断面形状比較
最も形状が一致する解を
位置として算出

3次元点群地図

- ・ 過去の3次元計測データ



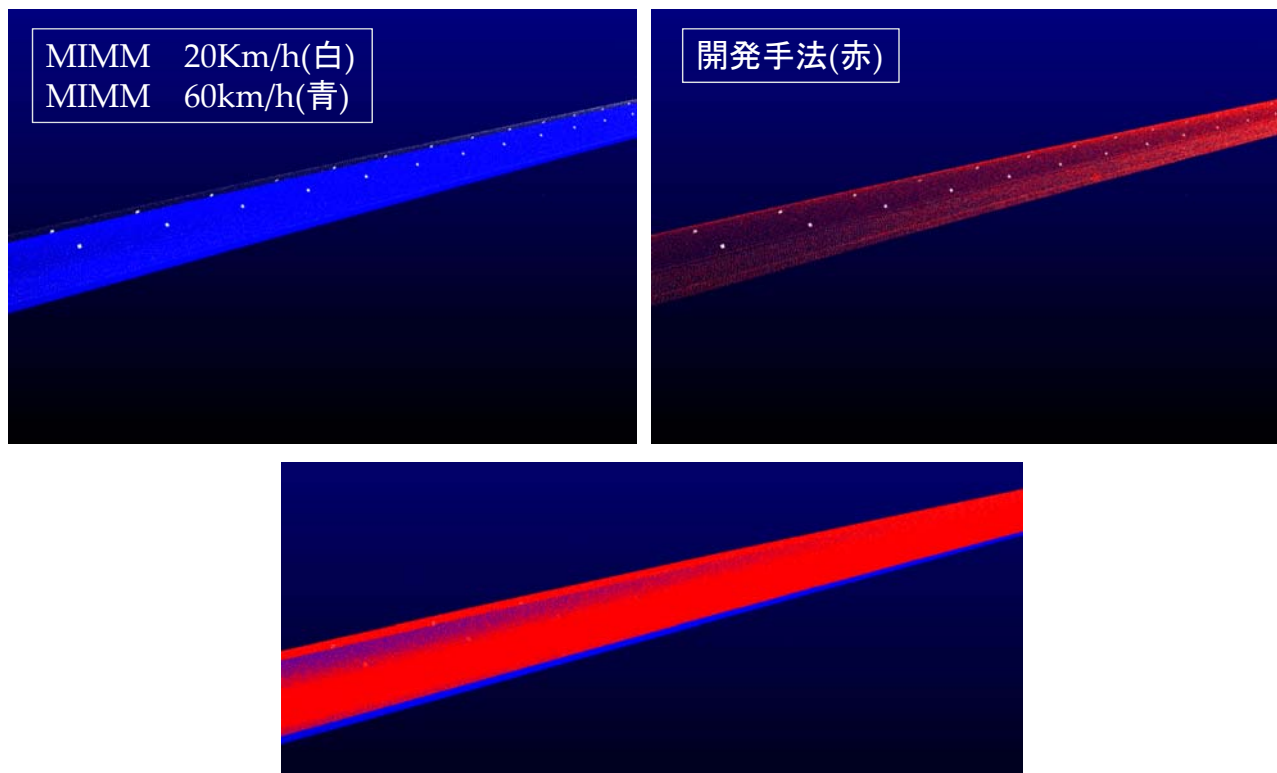
自動運転で使用する技術

トンネルには、そのままでは使えない
(同じ形状が続くため)

改良を実施
付帯設備のみ(照明)を抽出

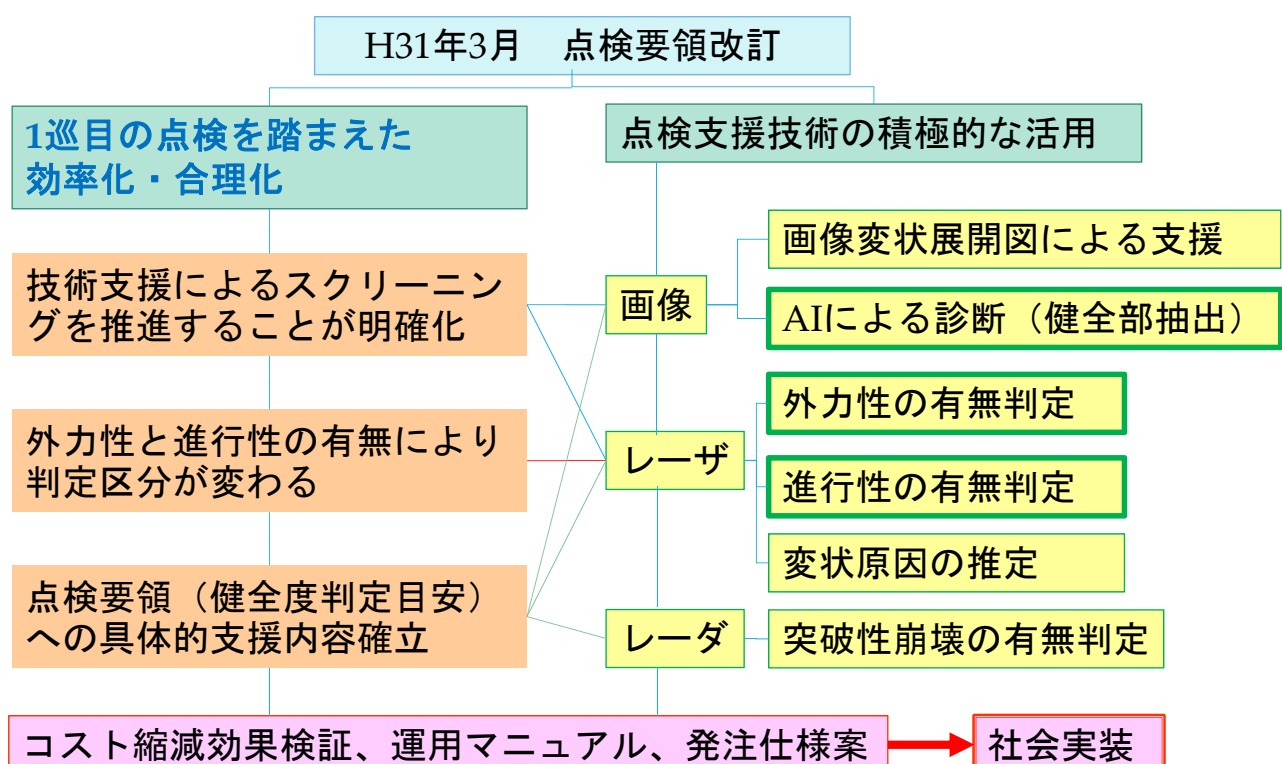
14

スキャンマッチングによる補正結果



非破壊検査の高度化に対する検討方針

基本方針における研究のポイント



研究成果概要

報告書構成

