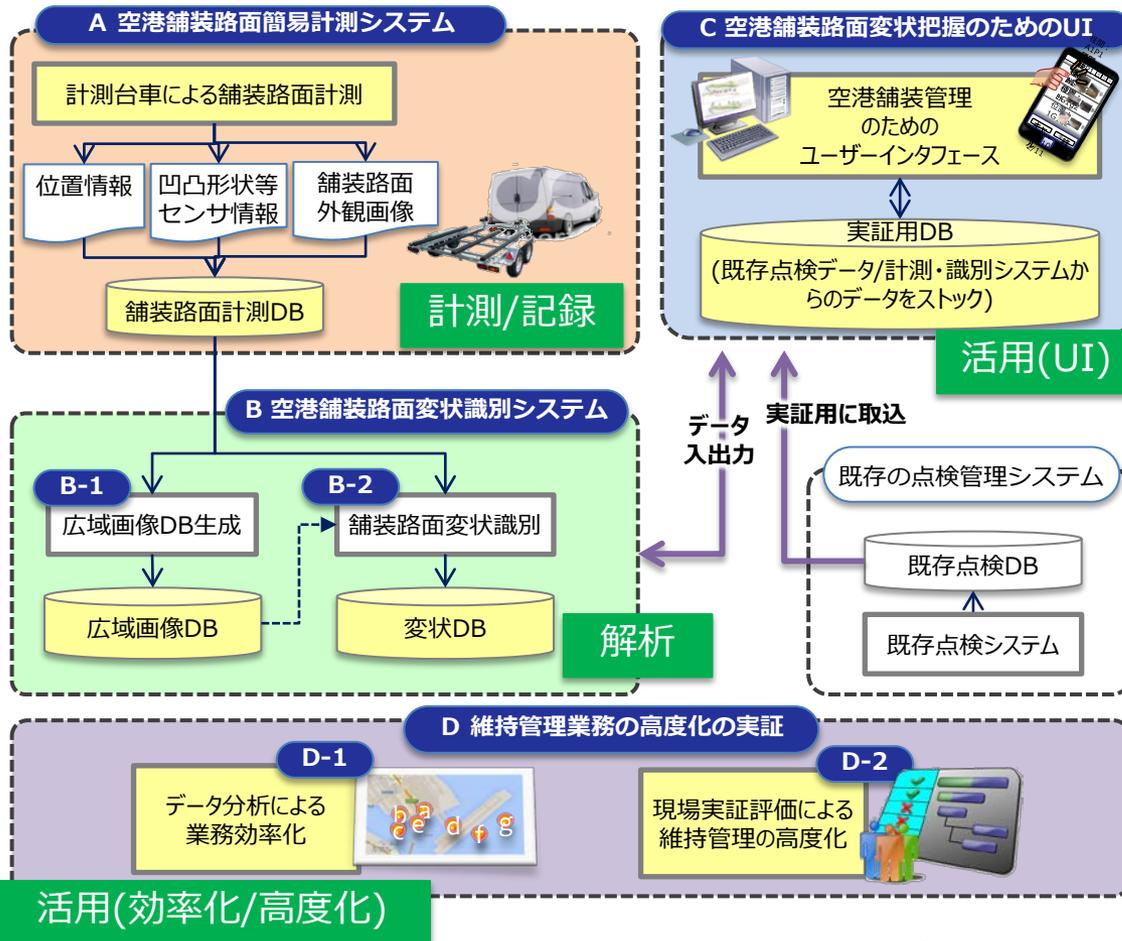


- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 空港管理車両を活用した簡易舗装路面点検システムの研究開発
- 研究開発責任者 : 東京大学大学院 情報学環 石川 雄章
- 共同研究グループ : 東京大学、パシフィックコンサルタンツ(株)、(株)ソーシャル・キャピタル・デザイン



研究開発の目的・内容



研究開発の目的

- 空港管理者が行う舗装巡回点検において、舗装のひびわれ等の損傷を、容易に計測、記録、可視化を実現する。
- 継続的なモニタリングを行うことにより変状の傾向を把握し、効率的な維持管理に活用する。

研究開発の内容

簡易舗装点検システムは、以下の項目により構成される。

- A: 路面状態の簡易な計測・記録
- B: 計測データによる変状の識別
- C: 点検データ等の可視化による現場支援
- D: データ分析による業務の高度化、効率化を実現。

A 空港舗装路面簡易計測システムの開発

◆技術的な課題

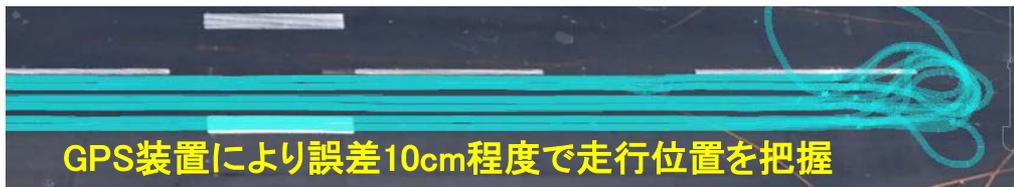
- 空港管理者自らが操作できる容易な操作性
- 短い点検時間で精細な大量のデータ取得を可能とする計測

◆システムの現状

- 光学カメラ、赤外線センサー、GPS装置等を搭載した計測台車を開発し、空港管理者所有の車両に取付け巡回点検で使用
- 走行速度30km/hでの撮影、データ取得・蓄積が可能

◆最終目標

- 路面ひびわれ幅1mm、凹凸形状は上下5mm以内、水平面分解能3cmの計測精度



B 空港舗装路面変状識別システムの開発

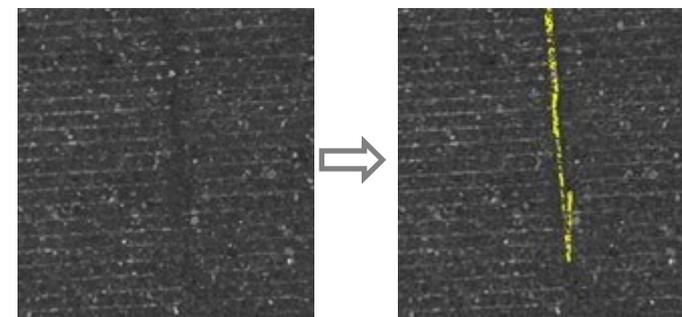
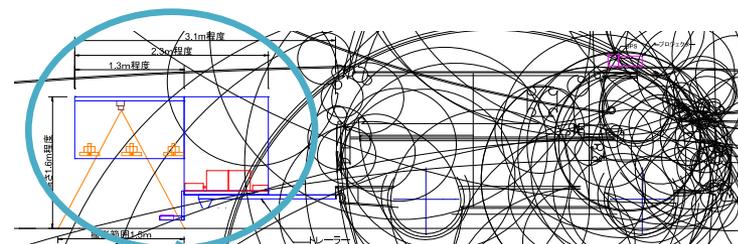
◆技術的な課題

- 滑走路面全体を網羅する広域画像の生成
- 高精度の路面変状の識別

◆システムの現状

- 撮影動画のフレーム画像を合成し、滑走路面全体を網羅する広域画像を生成可能
- 合成画像に対し、幅1mm以上の線状ひび割れと亀甲状クラックを検出し、検出位置と共にDBに登録
- 赤外線センサーの凹凸情報から深さ1cmの変状を検出し記録

空港舗装路面簡易計測システム



グルーピングを除外して変状を識別

C 空港舗装路面変状把握のためのUIの開発

◆現場の課題

- 複数回の現場実証による変状データ蓄積と経時変化把握

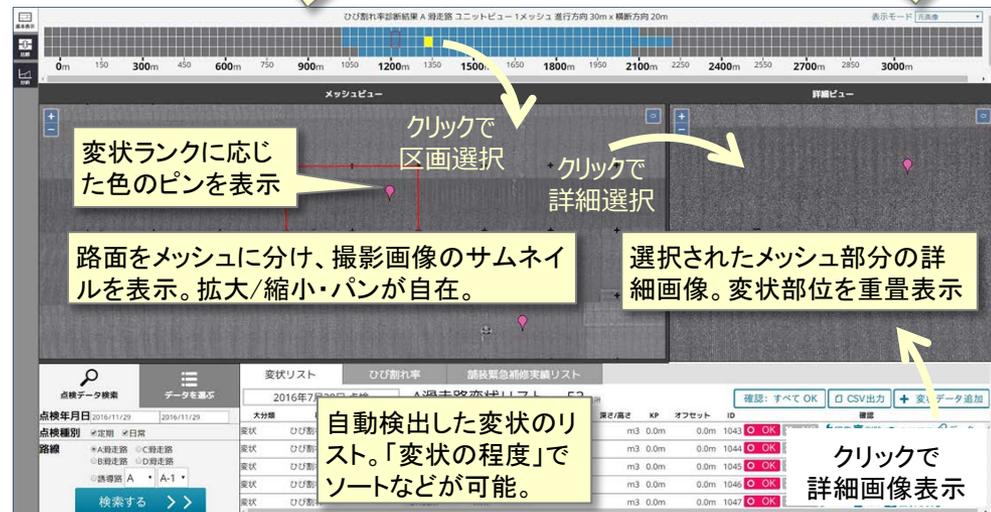
- 既往データとの関連付けの実現

◆システムの現状

- 評価レベル分布、広域俯瞰写真、変状重畳表示、変状リスト等の機能により、変状と過去の状態を可視化する機能を実現
- 管理者の事務所のPC、現場のタブレット端末等で同様の情報を参照可能

滑走路の管理単位ごとに評価結果を色分け表示

ブラウザで表示。タブレット端末上でも表示可能



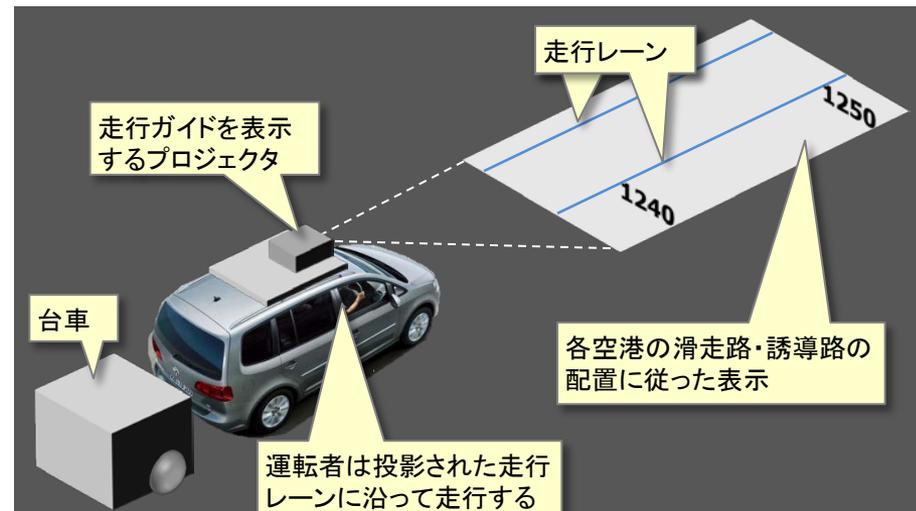
D 維持管理業務の高度化の実証

◆データ分析による業務効率化

- システムにより得られたデータを用いて、日常的な舗装の変状把握だけでなく、変状傾向や規則性を抽出するためのデータ分析を実施

◆実証評価を踏まえた維持管理業務の高度化

- 現場でのニーズを把握することにより、各種システムの有効性を検証
- 現在の巡回点検とシステムの導入による手順について、実証試験を通じて検証し、効率化を実現
- 測定時の走行精度を向上させるため、ガイドアプリ機能の開発により現場業務の高度化を実現



達成目標

実施項目	達成目標
A: 簡易計測システム	幅ひび割れ1mm以上の検出、水平5mmの画像分解能、深さ1cmの変状分解能
B: 変状識別システム	滑走路の連続画像化、位置に対応した高速な画像表示、線状/亀甲状クラックの識別、損傷種別・ランク・サイズの記録
C: UIの開発	滑走路全体での変状の分布傾向、損傷ランクの推移傾向、損傷単位の変化を把握できるユーザインタフェースの作成
D: 維持管理の高度化	変状DB等による空間分布や経年変化等の傾向分析。巡回点検等における効率化された業務手順の確立

想定するサービス提供の仕組み

- ◆ 日常の巡回点検として使用する場合
 - ▶ 簡易舗装点検システムを販売(保守含む)し、管理者が自ら点検業務に活用。あわせて取得データをもとに業務の高度化サービスを提供。
- ◆ 定期点検として使用する場合
 - ▶ 定期的な点検として、サービス提供者が舗装路面性状調査(ひび割れに関する事項)を実施し、データ解析、評価、分析までを実施し結果を提供

・サービス提供者

・空港管理者

【システム貸与・保守点検】

- ・ 簡易舗装点検システム機器の販売と保守・点検作業
- ・ システムの故障等に関して修理等の実施
- ・ システムの改善、改良作業

【維持管理業務の高度化に関するサービスの提供】

- ・ 取得した点検データの他、補修状況、利用状況等の各種情報を分析することで、劣化傾向を確認・分析
- ・ 維持管理方法の効率化につながる提案

自ら点検で使用し、データを維持管理に活用

空港管理用車両

計測台車

提供システム(事務所に設置)
ビューア

可視光
動画

赤外線
動画

GPS
データ



PC



緊急補修に活用

維持管理
方法の効率化

日常巡回点検のサービス提供

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 地上設置型合成開口レーダおよびアレイ型イメージングレーダを用いたモニタリング
- 研究責任者 : 東北大学 東北アジア研究センター 教授 佐藤 源之
- 共同研究グループ : 東北大学、情報通信研究機構



研究開発の目的・内容



研究開発の目的

- ・ 空港滑走路、誘導路、駐機場などの舗装体の異常を迅速かつ高精度に検知する
- ・ 広域を瞬時に計測するGB-SAR(地上設置型合成開口レーダ)と舗装体内部を精密に計測するGPR(地中レーダ)を組み合わせた革新技術



研究開発の内容

◆ GB-SARによる広域・高速異状箇所検知

- ・ 数分間隔での計測
- ・ 数百m程度の範囲を一度に計測
- ・ 舗装表面の状態把握



◆ アレイ型GPRによる精査

- ・ 深度1mまで舗装体内計測
- ・ 分解能: 2cm
- ・ 2cm以下の層内状態把握

従来の打音検査に置き換わる新しい電波技術の導入



◆羽田空港における実証試験

- ・庁舎屋上にGB-SAR装置を設置し、滑走路や誘導路を連続観測
- ・数分間隔の計測(最短1分間隔)と干渉処理による微小変位(最高分解能0.2mm)の検知
- ・17GHz(Kuバンド)周波数利用
- ・天候、昼夜を問わない24時間自動運用
- ・規定以上の路面変異が認められた場合、自動的に早期警戒警報を発信

◆GB-SARによって計測可能な現象

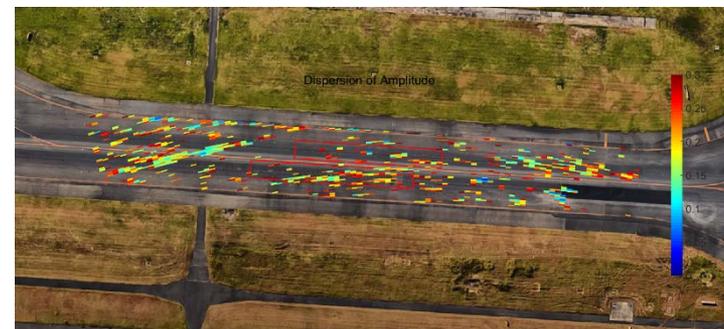
- ・ブリスタリングによる舗装体の損傷に誘導される舗装面変位
- ・航空機加重による舗装表面の轍の形状ならびに変形の様子
- ・滑走路、誘導路上の異物

◆GB-SAR導入による技術的優位性

- ・全自動計測
- ・1時間毎の舗装面表面の変位を自動解析
- ・設定した変位速度(例えば1mm毎時)が検知された場合に自動通知
- ・常時モニタリングが可能
- ・常時モニタリング、自動警報通報は宮城県荒砥沢地滑り計測で5年間の実証済
- ・打音検査による従来手法での常時モニタリングは不可能



羽田空港に設置したGB-SAR装置



羽田空港で計測された路面表面の干渉SAR画像

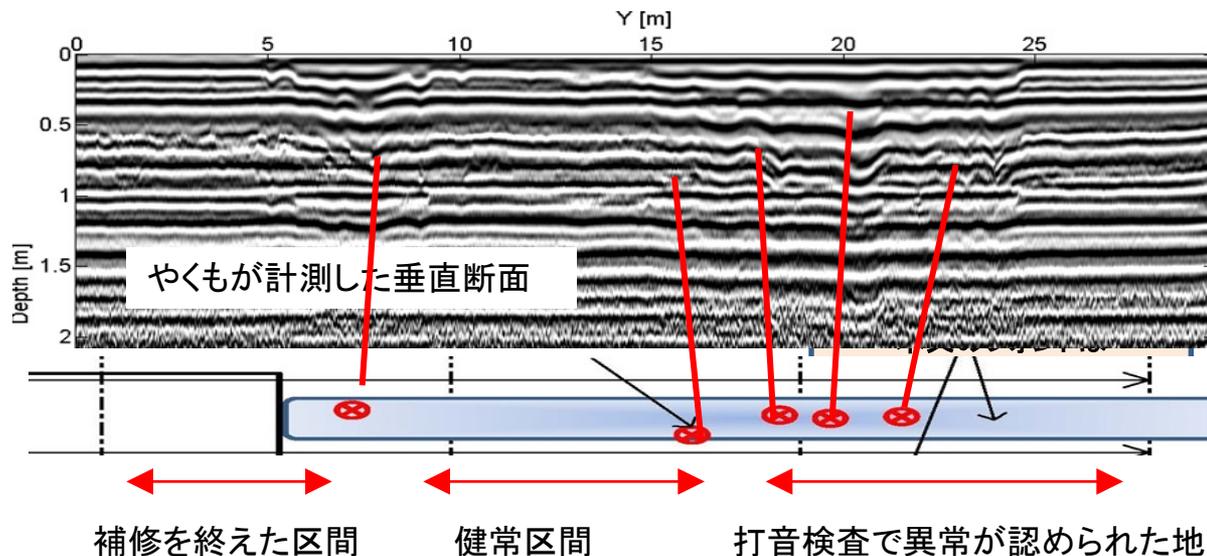
◆羽田空港A滑走路誘導路における実証

- ・8Ch送受信可能なマルチスタティック型GPR「やくも」を利用し64Chデータの同時取得
- ・10%程度の水分率変化をCMP計測によってリアルタイム計測
- ・補修箇所、健全箇所、打音検査による異常検知箇所を明確に識別できることを実証
- ・打音検査で異常のある箇所では深度20-50cm程度にGPRによる変異が認められる



車両搭載型GPRによる定期点検

時速4km程度で2m常時モニタリング
 車載型GPRを使用し、滑走路、誘導路、駐
 機場などのすべての範囲を常時巡回モニ
 タリング
 計測幅2m、時速25kmで計測：(3500m滑
 走路を一晩で5時間作業で60m幅計測)



羽田空港における実証試験

計測対象位置までの移動(15分)
 計測準備(20分)
 計測 (3分) (強雨条件下)

時速4km程度で2m幅のデータ取得
 異常区域は幅2m、長さ20mを想定

解析 (5分)

計測費用 設備費を除き人件費(運転1名、
 解析1名各4時間)、車両運行費

【参考】巡回点検作業(目視、打音点検)の例
 作業員: 8名

作業時間: 23:30~03:00(3時間30分)

作業範囲: 延長2,620m×幅80m

◆最終目標

★GB-SARとアレイ型GPRの総合運用システムの計測時間と計測精度

- ・GB-SARによる広域計測(常時モニタリング)
400m四方以上 計測時間 3分、計測精度 変位1mm
- ・アレイ型GPRによる精密計測(GB-SARによる異常検知箇所または常時)
計測精度 0.5cm、深度 50cm

★耐用年数

- ・GB-SAR装置 20年
- ・アレイ型GPR装置 20年



1度のGB-SAR計測による対象範囲

想定する利用形態

◆日常的な運用

- ・GB-SARによる定常的な変位計測を行う(モニタリング)
- ・許容範囲を超える地表面の変位、表面状態の変化を検知したら、自動的に警告を発する
- ・空港管理者への自動通報
- ・GB-SARによって異状が検知された地点を担当者がGPRで直ちに計測を行う
- ・車載型GPRによる計測は常態的に行うことも考えられる

◆定期点検

- ・担当者がアレイ型GPR(車載型を含む)により、計画された範囲を定期的に計測



羽田空港全域のモニタリングに必要なGB-SAR装置の配置図

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 3次元カメラと全方位型ロボットによる滑走路のクラック検知システムの研究開発
- 研究責任者 : エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジー株式会社
ネットワークサービスイノベーションビジネスユニット 木村 康郎



研究開発の目的・内容



研究開発の目的

滑走路に発生するクラックは、舗装面の劣化を加速させアスファルトの表面剥離を発生させる原因の一つであり、大規模な表面剥離は、航空機の運航に支障をきたすため、早期に発見、補修を行う必要がある。また、滑走路の点検は夜間の限られた時間で実施されるため、短時間で確実に舗装面の変状を検知する必要がある。現状の点検業務は、定期的な巡回による目視点検が中心であり、巡回点検の効率化、高度化が求められている状況である。

本研究開発は、3次元カメラと全方位型ロボットを活用し、滑走路の巡回点検における目視検査を代替する点検システムを開発し、巡回点検の高度化、効率化を実現するものである。

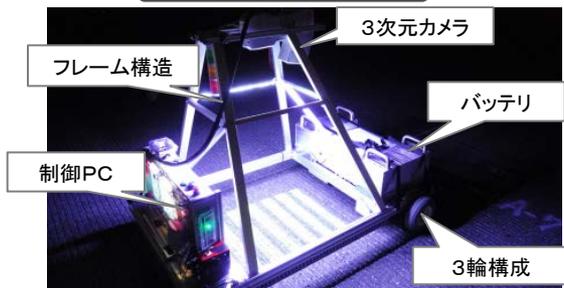


国土省航空局「アスファルト歩道の変状と空港舗装点検技術の現状」より

研究開発の内容

「3次元カメラと全方位型ロボットによる滑走路のクラック検知システム」は、3次元カメラを搭載した全方位型ロボットが、指定したエリアの舗装面の3次元画像を自動で取得し、画像解析することでクラックを抽出するものである。

全方位型ロボット



システム構成

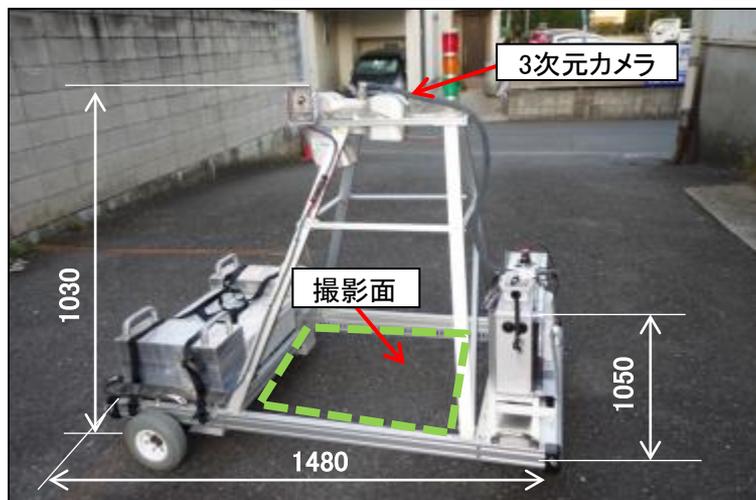


全方位型ロボット

低重心、3輪構造、スプリングダンパーの採用により、路面の凹凸の影響を吸収し、移動・停止時の振動を抑制する機能を向上させ3次元カメラ搭載ロボットを開発し、指定したエリアの3次元画像を自動で取得し、解析サーバに送信する機能を実現した。

現状は3次元カメラの撮影毎にロボットを停止させる必要があり、撮影に時間を要しているが、無人での滑走路の点検を実現できる可能性を示すことができた。

全方位型ロボットの外観



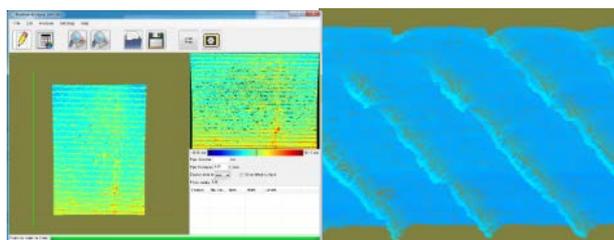
全方位型ロボット(側面)



(正面)



3Dカメラのプロジェクタ投影面



画像処理(カラーマップ) グルーピング部の拡大

諸元・機能

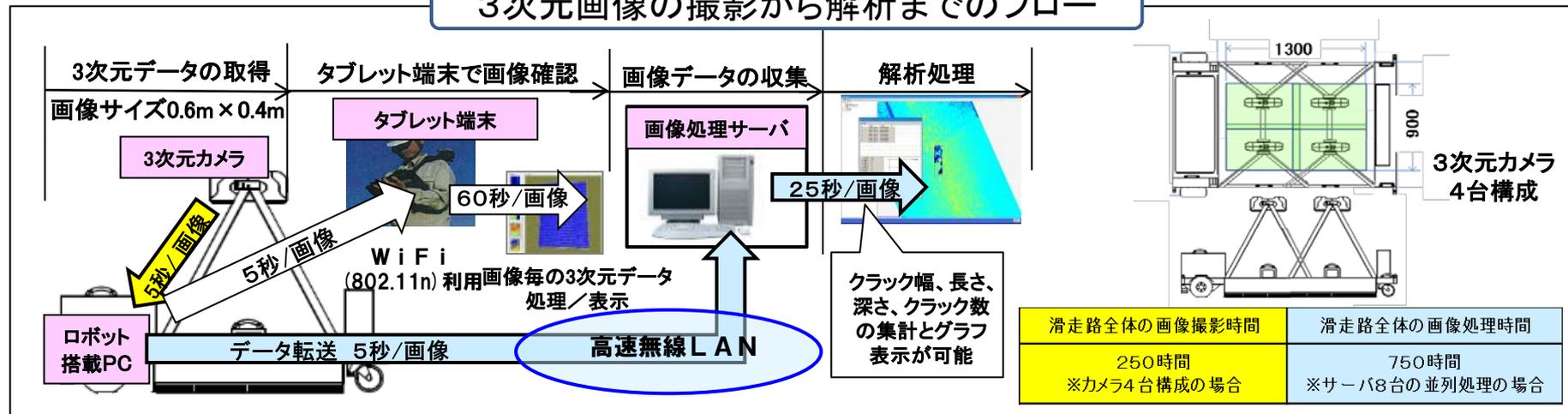
項目	内容
構成	駆動輪2輪、補助輪1輪の3輪構成
外形寸法	幅 : 1050mm 長さ : 1480mm 高さ : 1030mm
重量	総重量 : 83kg (本体 : 60kg バッテリ : 11.5kg × 2台)
搭載カメラ	セイコーウェブ社製3次元カメラ
移動制御	駆動車2輪の回転制御による移動制御方式
制御PC	マイクロPC2台構成 (ロボット制御用/カメラ制御用)
位置精度	GPS: 位置精度±1m
移動制御	移動制御機能 ・SLAM(周辺環境による自己位置推定技術) ・ジャイロ(ロボットの姿勢確認用) ・オドメトリ(モータ回転数制御)
電源	リチウムフェライト電源(24Ah×2台構成) ・着脱可能 ・連続動作時間: 2時間以上 (動作内容により変わります。)
カメラ制御	・3次元カメラの撮影制御 (ロボットの移動、停止に合わせて撮影) ・データ収集、保存
振動制御	・補助輪のスプリングダンパー ・駆動輪; ウレタンタイヤ ・カメラ取付位置を重心上部に設置 ・カメラマウントのフレーム構成 ・カメラマウント部の制振ゴム

画像収集から解析処理までの時間の短縮化

3次元画像データはデータ量が多く、撮影、データ転送、データ解析において時間を要していた。H27年度時点での処理時間は、70cm×50cmの1画像(約70MB)の撮影、データ転送、解析処理に6分程度を要していたが、データ処理方法の見直しにより約30秒で処理できるようになった。

しかし、滑走路の全体の撮影には1000時間程度を要するため、複数台のカメラによる処理が必要になる。カメラ4台構成の場合の試算を示す。

3次元画像の撮影から解析までのフロー



測定データの地図表示

測定した3次元画像データ、及び、クラックの解析結果を地図を活用して管理、表示する。主な機能を以下に示す。

- (1) 測定データの格納・表示(ツリービュー表示)
- (2) 測定箇所のバルーン表示
- (3) 測定データ詳細表示
- (4) 測定結果のグラフ表示

また、滑走路上のクラックの位置特定において、地図表示機能を活用することで、クラック位置確認が容易となり現場作業の効率化につながる。



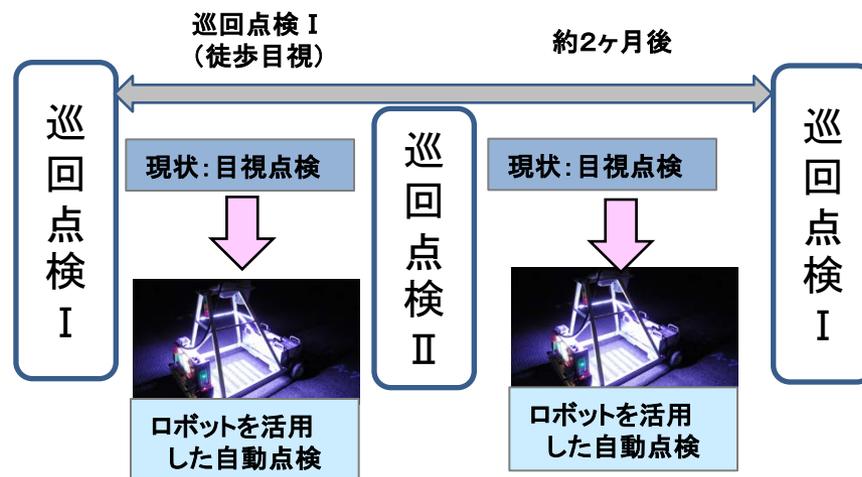
達成目標と達成度

項目	達成内容
アスファルト舗装の3次元画像取得	<ul style="list-style-type: none"> 滑走路全体(幅60m×長さ3,000m)の撮影時間として、カメラ4台構成の場合、約250時間である。 画像処理に要する時間は、サーバ8台構成で約750時間である。
クラック抽出機能の開発	<ul style="list-style-type: none"> 幅1mm以上の線状のひび割れ → 自動抽出対応済み。 亀甲状クラック → 手動による抽出機能の改良が必要である。
モニタリングデータの可視化	<ul style="list-style-type: none"> 地図表示機構、グラフ表示機能

本技術の社会実装のイメージ

- 滑走路の巡回点検業務への適用
 - 巡回点検 I、IIにおける目視検査の代替、及び、補完技術として活用する。
- 滑走路クラック検知システムの販売、及び、レンタル
 - 滑走路の3次元画像収集ロボット、及び、計測システムの販売、及び、レンタル。
- 現場への普及に向けた技術支援
 - ロボット、及び、解析システムの操作に関する技術支援を展開。
- 計測業務の受託
 - 計測業務の受託サービスを展開。

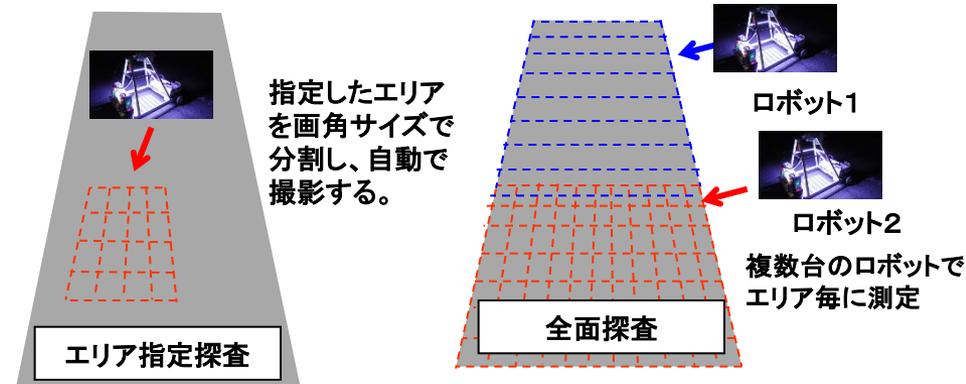
滑走路の巡回点検の支援



・目視点検をロボットの3次元画像撮影に置き換えることで巡回点検の高度化、効率化を目指す。

巡回点検方法(イメージ)

- 点検箇所を指定したエリア指定探査
- ロボットを複数台利用した滑走路の全面探査



- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 高解像度画像からのクラック自動抽出技術による
空港の舗装巡回点検用モニタリングシステムの研究開発
- 研究責任者 : 株式会社アルファ・プロダクト 原 徹
- 共同研究グループ : 株式会社アルファ・プロダクト、大阪工業大学



研究開発の目的・内容



研究開発の目的

- ・作業員の巡回目視による空港滑走路の点検を補完するために、滑走路表面のクラックについて、その長さと幅を精度よく簡易に記録し、得られたクラックデータを容易に既存滑走路平面図に転記できるシステムの開発。

研究開発の内容

- ＜クラック自動抽出＞2台のデジタルビデオカメラで撮影した画像を、専用ソフトで自動処理し、クラックを0.5mm単位の幅別に色分け表示すると同時に、幅別の長さが集計される。
- ＜CADデータ変換、転記＞得られたクラックデータをDXF形式に変換後、撮影開始時に測定したGPS座標と方位に基づいて既存CAD空港平面図に正確に転記することができる。

＜撮影機材＞

- ・2名による手押し撮影で、レーザーポインターを併用して直線性を確保、5時間で約12m×3000mの範囲の撮影が可能。牽引車による使用も可能。
- ・撮影機材は管理車両1台の荷台に積載できる組み立て式で、組立は2名で約30分、分解約15分。
- ・撮影装置の電源はすべて充電式バッテリーで、想定稼働時間は気温0度で約4時間。
- ・ドップラー式レーザー距離計による正確な移動距離測定。

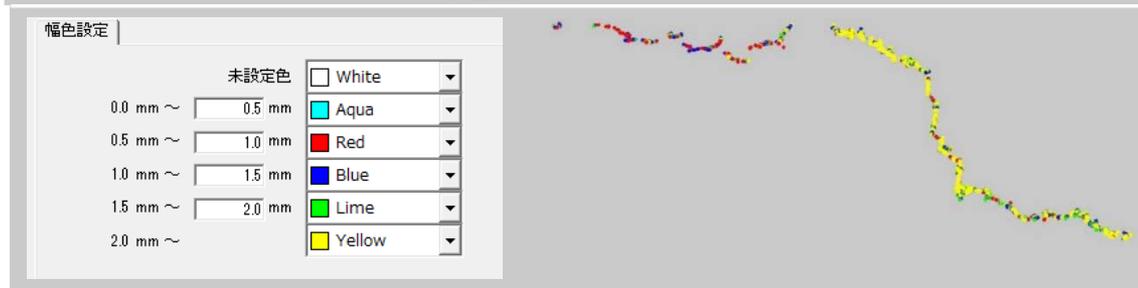
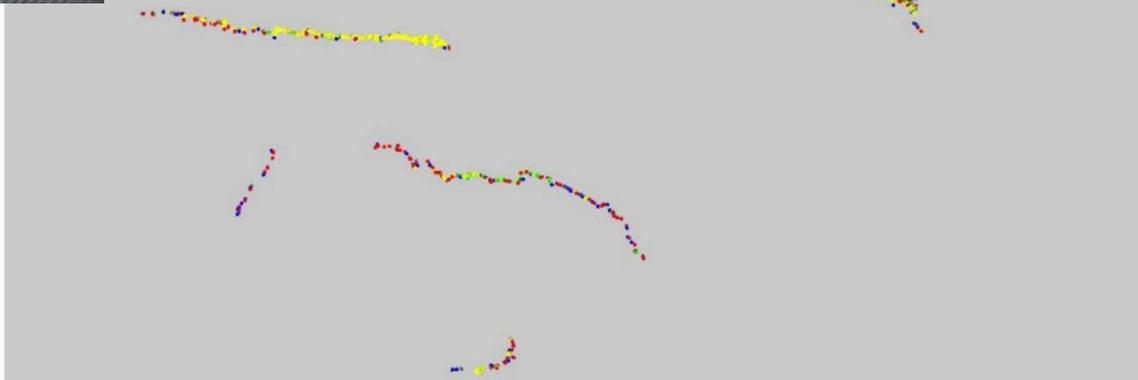
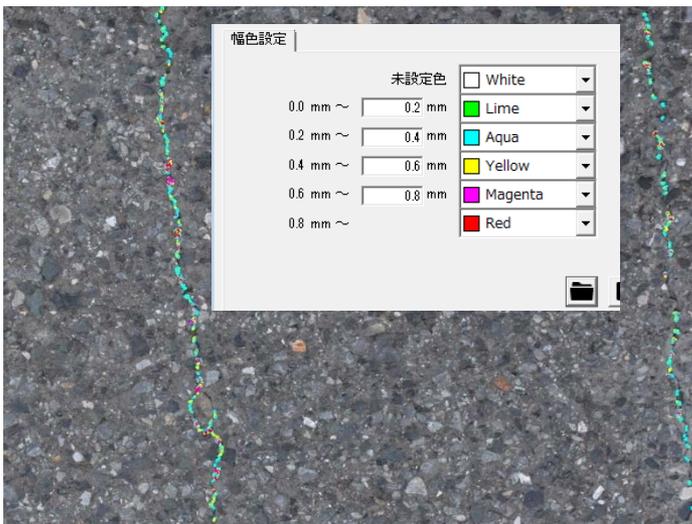
羽田空港滑走路での測定状況



<自動抽出したクラックNo.10>

クラックNo.10とその色別表示、および長さ集計結果。

クラック幅	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-
長さmm	0	702	1169	1039	4746

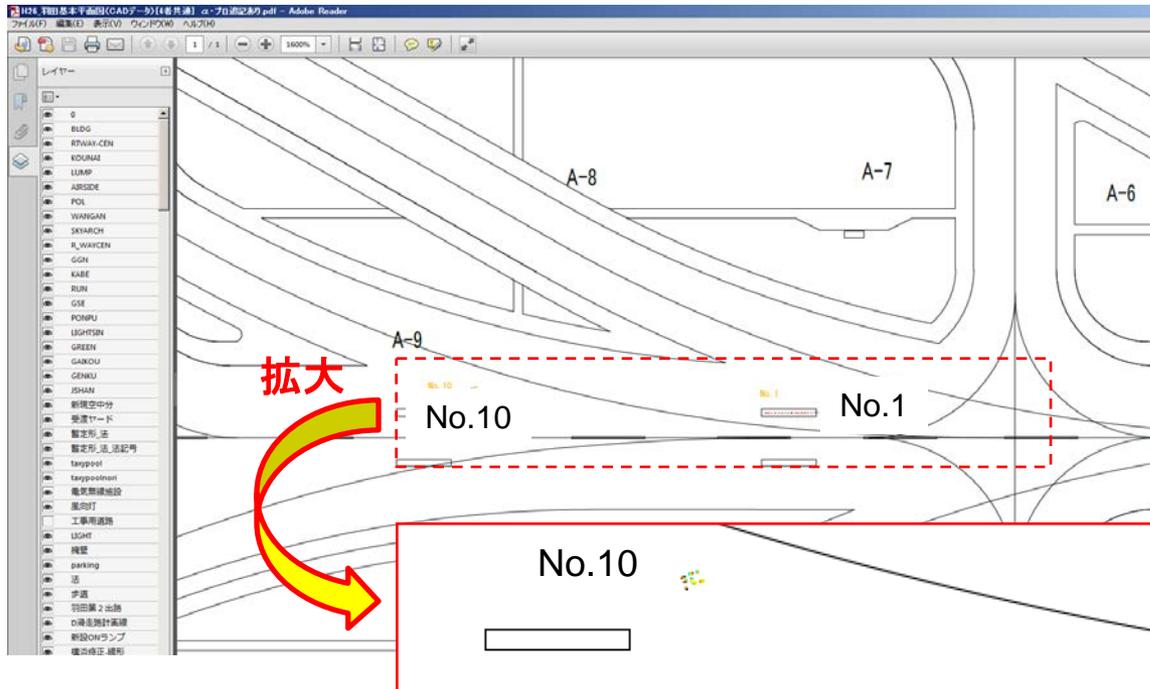


※画像とクラックの同時表示の例。

画像は別途接合して保存され、随時閲覧可能。

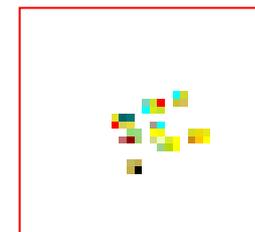
現状の成果②

- ・空港既存CAD平面図への転記図
- ・クラック経時変化の確認

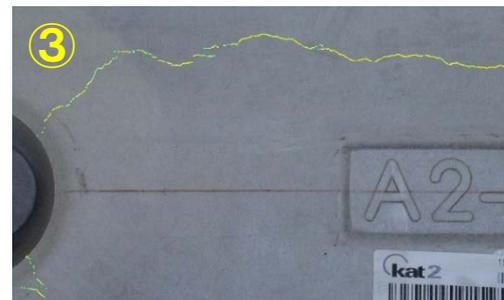


＜空港平面図に転記した
2つのクラック、No.10とNo.1＞

No.10の拡大



＜クラック経時変化の確認(トンネルセグメント破壊試験でのデータ)＞



※トンネルセグメント加圧
破壊試験での経過時間
(分単位)別データ。
①→③と時間経過によるク
ラックの成長が確認できる。

＜リアルタイムでの画像表示＞

大型モニター2台にリアルタイムで画像表示が可能。

■ 知財、登録等

クラック自動抽出技術はNETIS KT-130046-Vとして登録済。
FOCUS- α は商標登録済。

■ 3案のビジネスモデルを検討中

①解析ソフトを含めたシステム全体の販売。

想定価格：約2,000-2,500万円

②撮影装置のみの販売。データ解析は当社。

現状の解析想定価格：約¥5,600/100m² ※

③抽出精度を固定した自動抽出ソフトと画像接合ソフト、
及びCADデータ変換ソフトの販売もしくはリース。

想定価格：約200-300万円

※画像接合(100m単位)とクラック抽出。CADデータ変換は別途。

2017年1月現在。

撮影装置の仕様

項目	ビデオカメラ連続撮影方式	
撮影方法	連続走行	
時間当たり撮影範囲	10,220m ² /h	
検出精度	0.35mm	
撮影画像	880万画素	
撮影機材	4Kデジタルビデオカメラ	
レンズ焦点距離	37mm	
撮影カメラ台数	2台	
照明	LED常時点灯	
電源	充電(内部・外部)バッテリー	
撮影装置	アルミ製手押し台車	
補助撮影機材	レーザー距離計/赤色レーザー	
作業	時速5km/h 連続撮影	
撮影準備作業	レーザー設置	
機材運搬車両	1台(荷室のみ)	
画像処理	クラック自動抽出	連続自動抽出
	クラック幅毎の色分け	あり
	撮影方向画像接合	自動接合
	隣接カメラの画像接合	自動接合
クラックのCADデータ変換		専用ソフト使用

データ処理の仕様

項目	画像からのクラック自動抽出
抽出精度	滑走路用0.35mm(最大0.1mm)
画像1枚当たりの処理速度	約4秒
処理ステップ	5
処理ステップでの調整	有り(設定後は自動処理)
適用パソコン使用	Core-i7,3GHz以上、RAM32GB以上