

# 空港舗装車両を活用した簡易舗装点検システムの開発

東京大学大学院情報学環境 石川 雄章、熊田 和人、津曲 涉  
 パシフィックコンサルタンツ株式会社 上野 功、小沼 恵太郎  
 株式会社ソーシャル・キャピタル・デザイン 村田 利文

## 1. はじめに

空港舗装施設の維持管理においては、適切な維持管理手法の導入による長寿命化や、維持管理・更新のトータルコストの縮減・平準化、ベテラン点検員の減少による人員不足への対応など、さまざまな課題を抱えている。特に 24 時間運用を行う大規模な空港では、広大な面積を対象とした舗装施設に対し、時間的制約を受けた中での維持管理が求められている。

このような状況のなか、空港管理者が行う舗装の巡回点検において、舗装のひびわれ等の損傷に対する測定・記録が容易に実施可能となる効率的なモニタリング技術の開発が求められている。

こうした課題に対して、筆者らは、空港管理者が巡回点検で使用する管理用車両を活用した簡易舗装点検システムの提案を行い、研究開発を行っている。本文は、これら技術開発の概要について述べるものである。

なお、当研究は、「SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」における点検・モニタリング・診断技術の研究開発として、東京大学、パシフィックコンサルタンツ株式会社、株式会社ソーシャル・キャピタル・デザインの共同により実施している。

## 2. 研究開発の概要

本研究開発は、以下に示す項目 A～項目 D で構成されており、その全体像を下図に示す。

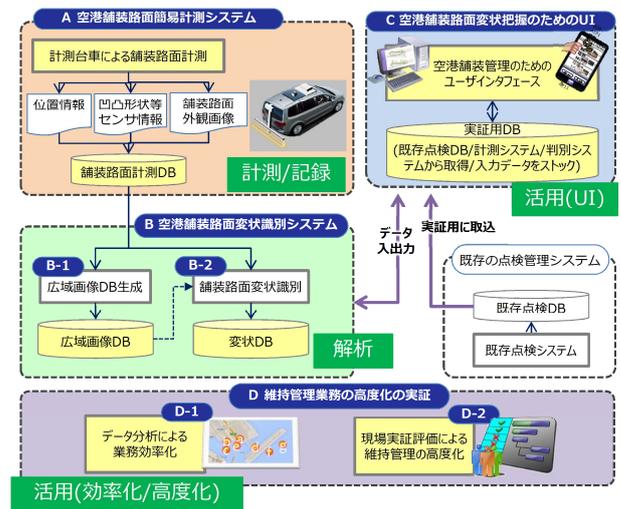


図-1 研究開発の全体像

### （項目 A）空港舗装路面簡易計測システム

日常の巡回点検等の路面管理において用いられる管理用車両の後部に、舗装路面状態を計測するためのラインカメラを搭載した計測装置を取り付け、走行させることにより舗装路面の状態（外観と形状）を計測する。また、計測したデータに時刻・位置などを付与してデータ解析が可能な形式でデータベース（以下「舗装路面計測 DB（データベース）」という）に記録する。

### （項目 B）空港舗装路面変状識別システム

項目 A によって蓄積された画像データと GPS 装置等のセンサの計測データを入力として、空港全域の舗装状態を切れ目なく高解像度の画像でカバーする広域画像を生成し、業務利用を想定した形式で画像データとしてデータベース（以下「広域画像 DB」という）に蓄積する。また、空港管理に必要な変状抽出の考え方を踏まえて、空港舗装路面上の線状ひび割れ、亀甲状クラック等の変状を自動的に識別し、変状情報をデータベース（以下「変状 DB」という）に記録する。

### (項目C) 空港舗装路面変状把握のためのUI

項目Bにより作成される広域画像DB及び画像解析で識別された変状及び過去の点検データ等を用いて、空港全体の劣化状態の分布や舗装路面状態の経時変化等が確認できるユーザーインターフェース（以下「空港舗装路面変状把握のためのUI」という）を開発した。本システムでは、変状分布の地図表示や路面の計測結果画像と変状情報の重畳表示（アノテーション情報表示）を行うほか、後述する項目Dの結果をふまえ、変状状態の推移等を含め、空港舗装路面管理に有効な情報を可視化する。

### (項目D) 維持管理業務の高度化の検討

項目Aで開発する空港舗装路面計測システム及び項目Bで開発する広域画像DBならびに変状DBにより、空港舗装路面の状態に関するデータを簡易に取得/蓄積することが可能となる。これらの多量のデータを活用して、空港舗装路面の状態に関する時間的、空間的な変化を分析することにより、空港舗装路面の変状傾向や規則性等を抽出する。また、各種システムを実際の空港維持管理において有効に活用するための実証評価を行い、業務手順の効率化について検討を行なった。

## 2. 空港舗装路面簡易計測システム

路面簡易計測システムに搭載するセンサ群は、ラインセンサならびに照明器具、車両の絶対位置を把握するGPS装置、車両の進行距離を把握するための距離計（オドメータ）等により構成する。計測精度は、路面のひび割れ幅1mm、凹凸形状は上下10mm、面積10cm<sup>2</sup>を検出することを目標としている。

舗装路面の計測は、測定装置を搭載した車両を走行させながら、進行距離により、ラインセンサの撮影を自動で行うことで、自動的に舗装路面の状態を撮影した写真を収集できる。取得した路面外観画像ならびに路面凹凸形状データは、位置情報を付与して舗装路面計測DBに蓄積する。

この管理用車両による計測は、空港の運用に支障がない夜間の時間帯を想定しているため、路面に照射し十分な照度を得るための照明施設を設

置している。照明施設は、10W-LEDライト27個を一列に配置し、舗装路面より約60cm高さに設置している。1回の走行で計測できる有効幅は、2m幅としている。

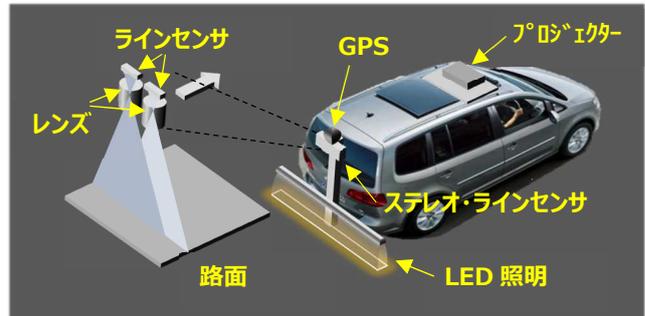


図-2 計測装置の概要



写真-1 夜間の計測状況

なお、計測は人の運転によるため、幅の広い滑走路を複数回に分割して計測を行う場合、走行中に多少の蛇行が生じて画像の重なりが一定にならないことが想定される。そのため、走行・計測すべきレーンを路面上に表示するため、車上に取付けたプロジェクターによりガイド情報を表示する走行ガイドシステムを開発した。

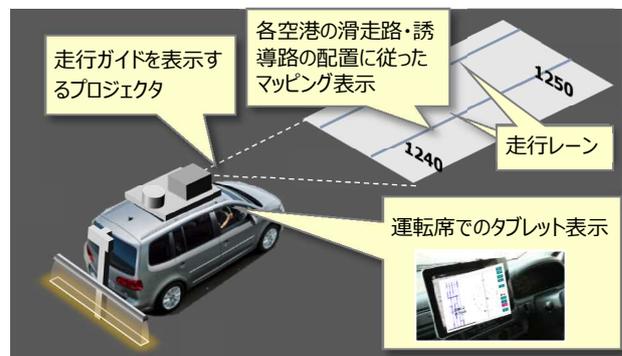
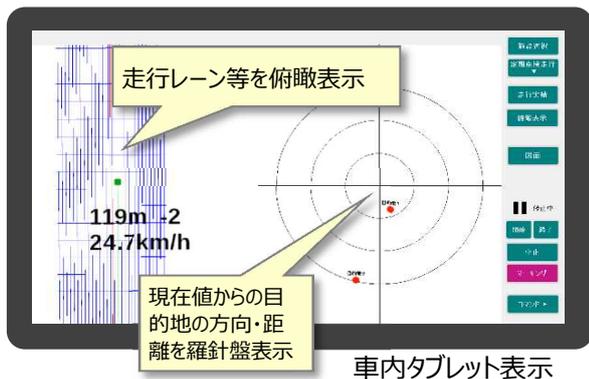


図-3 走行ガイドシステムの機能



運転席から見た様子



車内タブレット表示

図-4 走行ガイドシステムの機能

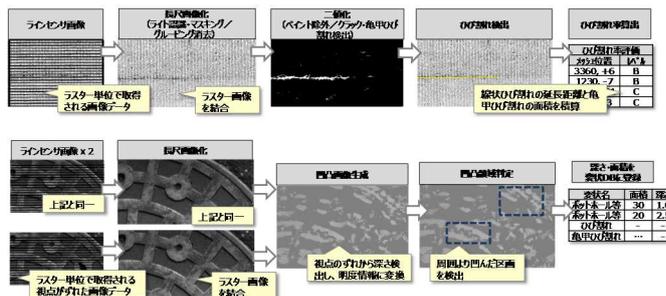
### 3. 空港舗装路面変状識別システム

路面変状識別システムは、広域画像 DB データ等をもとに、広域画像 DB 生成技術を用いて、空港全域の広域画像を作成する。また、広域画像 DB に対し、舗装路面変状識別技術を用いて、線状ひび割れ、亀甲状クラック等の変状を自動的に識別する。

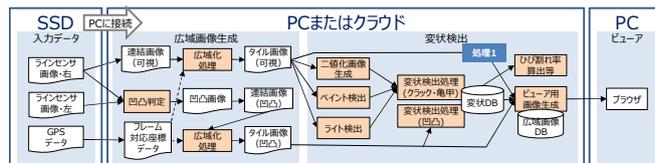
(広域画像 DB 生成技術)

舗装路面計測 DB に蓄積された舗装状態画像データを、GPS 装置から得られた緯度経度情報を基準として、画像処理および空港の管理業務のための可視化に有利な解像度と精度を保持して、ブロック画像の単位 (2.4m×2m) に分割し、滑走路全域の舗装状態を漏れなく高解像度の画像でカバー可能な広域画像を生成し、広域画像 DB に記録する。

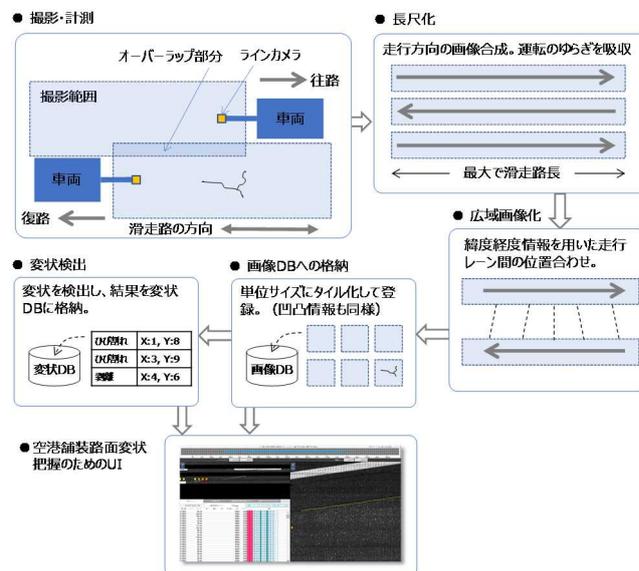
この処理と並行して、2 台のラインカメラからの両画像を利用して深度を計測し、深さを明度に変換した深度画像を生成する。同画像は前述の可視画像と同じ単位のブロック画像の単位に分割し、広域画像 DB に記録する。



変状検出のための画像処理



データフロー



撮影・計測から UI 表示まで

図-5 技術的メカニズムとその結果のイメージ図

(舗装路面変状認識技術)

広域画像 DB に格納されたデータを入力として、線状ひび割れ及び亀甲状クラック、さらにポットホール、剥離等の凹凸変状を自動識別する。まず、線状ひび割れ及び亀甲状クラックについては、画像データのコントラスト等の情報に基づき、画像内からひびの要素となる点群を検出し、この連なりを自動認識し連結 (トレース) することで、一体としての線状ひび割れや亀甲状クラックの位置・形状・範囲を認識する。ポットホール、剥離等の舗装面の凹凸を伴う変状については、深度画

像内の連続した深度異常の深さ・高さおよび面積に関する閾値を設け、閾値を超えたものを変状として識別する。

自動的に識別した変状情報は、空港全体の広域画像の上に重畳表示が可能となるよう、広域画像上の位置に関わる情報と併せ、形状・範囲等を示す情報（アノテーション情報）を記録する。

#### 4. 空港舗装路面変状把握のための UI

空港全体の劣化状態の分布や舗装路面状態の経時変化等が確認できるユーザーインターフェースを開発し、空港舗装路面管理に有効な情報を可視化する。

UI では、①広域画像 DB を用いて計測毎の変状を速やかにとらえ、その結果を可視化することで維持管理業務の参考情報として活用する、②滑走路等の広域画像を表示しながら、変状情報を重ね合わせて表示することで、空港全体や滑走路路上における各種変状の空間的な分布を把握する、③同一地点や類似の場所の過去の変状情報を検索するなど必要な時期や場所の情報を簡便かつインタラクティブな操作で見つけ出す等の機能を提供している。

本 UI は、広域画像 DB ならびに変状 DB と連動して動作する Web アプリケーションとして開発した。従って、屋内事務所で用いるコンピュータ (PC 等) のみでなく、タブレット等のモバイル端末上のブラウザからも利用できる。屋外の業務においては、前述の走行ガイドシステムのユーザーインターフェースと制御のために利用しているタブレットで、利用者の現在地と向きを空港舗装路面の変状位置と対比し確認しながら現場に向かい、変状情報の現場確認を行うことも可能となるが、現場到着後に、タブレットを用い、該地点にある変状 DB に記録されている過去の変状データを参照する等の使い方も可能である。

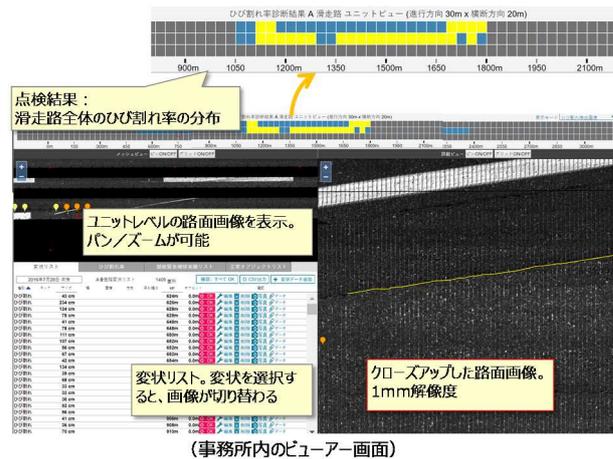


図-6 空港舗装路面変状把握のための UI

#### 5. 維持管理業務の高度化

(データ分析による業務効率化)

今後の事業展開 (社会実装) を踏まえ、現場が求めている分析内容を想定し、分析結果の現場活用イメージを検討した。具体的には、特に現場で活用されている「緊急補修平面図」および「舗装補修整理簿」を基にした地形的・時間的な傾向分析の結果を点検業務効率化へつなげるイメージを整理した。

なお、現場が求めている分析内容の想定として、発生現象 (どんな異常が)、発生箇所 (どこで)、発生時期 (どの位の頻度に) の項目について、舗装破損現象 (段差、変形、座屈、崩壊、目地破損、磨耗、ひび割れ、表面の異常などの種別)、施設別 (誘導路、滑走路など)、幾何構造別 (直線部、交差部など)、月別などの関連付けが挙げられる。

項目	現場が求める分析内容 (想定)	分析に用いるデータ	分析手法	分析結果の活用イメージ (提案内容)
発生現象 (どんな異常が)	・ 舗装破損現象 (段差、変形、座屈、崩壊、目地破損、磨耗、ひび割れ、表面の異常などの種別)	緊急補修平面図 舗装補修整理簿	地理的傾向分析	【点検計画策定段階】 ・ メリハリのある点検計画を設定 (モニタリング視点の設定) ⇒ 効率的な点検計画の立案を支援
発生箇所 (どこで)	・ 施設別 (誘導路、滑走路など) ・ 幾何構造別 (直線部、交差部など) ・ 走行位置別 (中心線からの距離) ・ 灯火の有無別 ・ 破損規模 (面積、深さ) ・ 補修履歴			
発生時期 (どの位の頻度に)	・ 月別 ・ 経過年数別 ・ 気温別 ・ 降雨状況 (発生 1~2 日前)		時間的傾向分析	【点検実施段階】 ・ 点検時の的確な経過観察を実施 (モニタリング指標の設定) ⇒ 効率的な現場作業の実施を支援

※表中の赤文字箇所を対象に分析実施を予定

図-7 分析結果の現場活用イメージ図

現時点では、上記の視点の中から、地理的傾向分析として、緊急補修平面図を活用し発生箇所に関する可視化に着手した。具体的には、緊急補修平面図から既往の補修記録（発生位置や発生時期および発生箇所の規模）が把握できることから、劣化位置の傾向を可視化するための検討を実施している。緊急補修平面図を活用し、発生位置と発生回数との関係を図示することで、どの場所に緊急補修箇所が集中しているかを可視化することで、モニタリング視点の設定に活用することを想定している。

なお、今後において、分析結果の現場への適用性を考慮し、空港管理者（現場担当者や経験者など）との意見交換を実施し、可視化の内容について調整していく事を予定している。

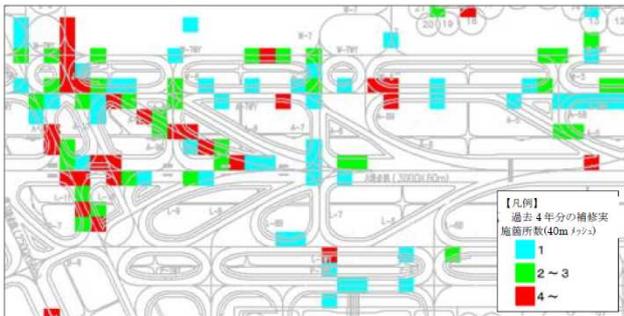


図-8 過去4年分の補修実施箇所の可視化

（実証評価を踏まえた維持管理業務の高度化）

空港での舗装路面の維持管理は、時間的制約を抱えた中で行われていることから、簡易計測システム及び変状識別システム等により、維持管理業務の時間短縮効果、業務の効率化を行う意義は大きい。

従って、巡回点検における効率化を現場実証により検証するため、既存の巡回点検業務の実態を十分把握するとともに、新しいシステムを導入することによる業務工程の効率化のための検討を行なった。



図-9 システム導入後の点検手順

## 6. 本システムの特徴と巡回点検作業での導入

本システムは以下の特徴を有しており、これらを活用し空港舗装の巡回点検を対象に、現場作業の効率化、事務作業の効率化が考えられる。

### 【本システムの特徴】

#### ・簡易な機材構成と容易な操作性

市販の機器を用いた簡易なシステム構成としているため、一般的の路面性状測定車と比べ、容易な操作性となっている。日々、巡回点検を実際に行なう作業員が使用することを想定している。

#### ・計測、解析、可視化機能による点検業務全体のトータル支援

システム概要に示したとおり、計測、解析、可視化、データベース化までをトータル支援するシステムとしており、業務全体としての効率化が図られる。また、日々の点検に対応するため、夜間での計測作業結果を翌日に可視化できる機能を考えている。

### 【導入による作業効率化】

#### （現場作業）

巡回点検で確認された要観測箇所のクラック等の形状や位置の測定において、これまでメジャー等を用いた作業員による測定から、計測車両に

よる計測を行なうことにより時間の短縮が図られる。

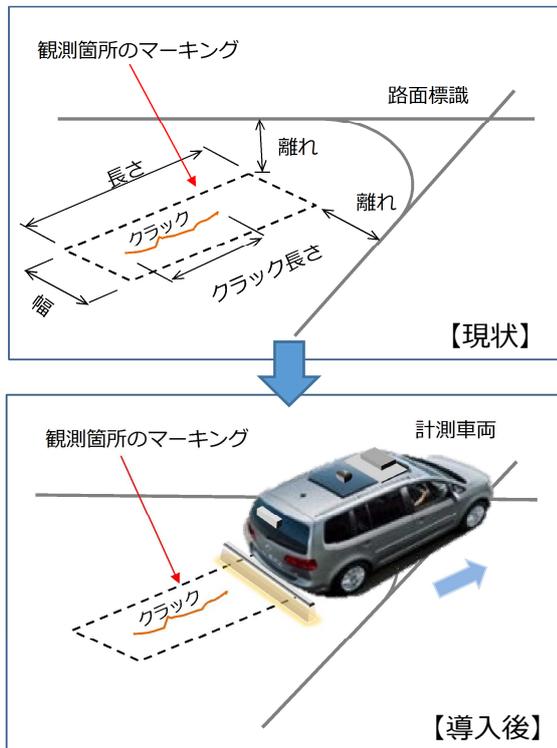


図-10 現場作業の効率化

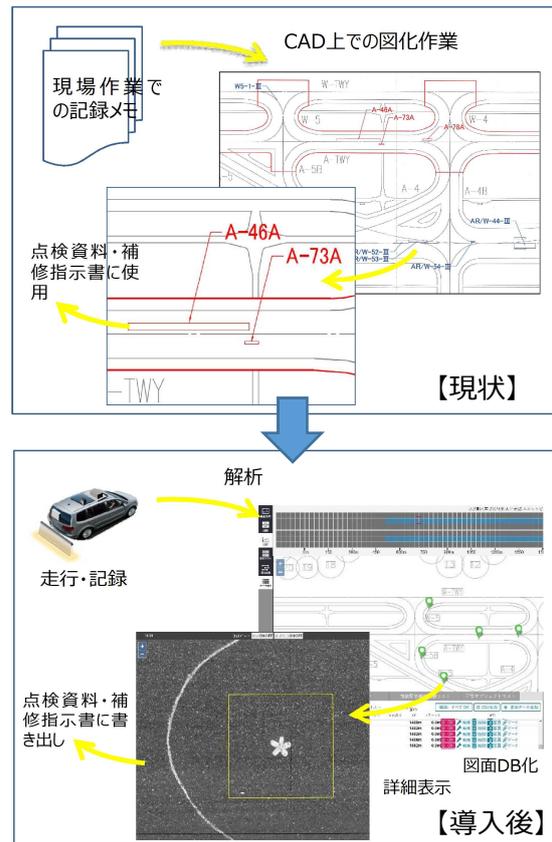


図-11 事務作業の効率化

### (事務作業)

これまで現地での作業員の測定したメモデータをもとに CAD 図化していた作業を、計測システムで記録したデータを解析処理することにより、図化に要する作業時間の短縮が図られる。

### 【定時性の確保、安全性の向上への効果】

運用時間内での舗装路面の損傷の発生は空港の定時性や安全性に大きな影響を与える要因となっている。これら運用時間内の緊急補修を防ぐ方法として、運用時間外における巡回点検時に発見、補修を行なうことが重要となっている。

本システムの導入により、現場作業での測定時間（位置だし、登録）を短縮することにより、損傷を見つけるための目視点検、打音点検に要する時間を多く確保できる。これにより巡回点検での損傷箇所の発見数の向上、及び運用時間内でのリスクの低減に効果があると考えられる。(図-12 参照)

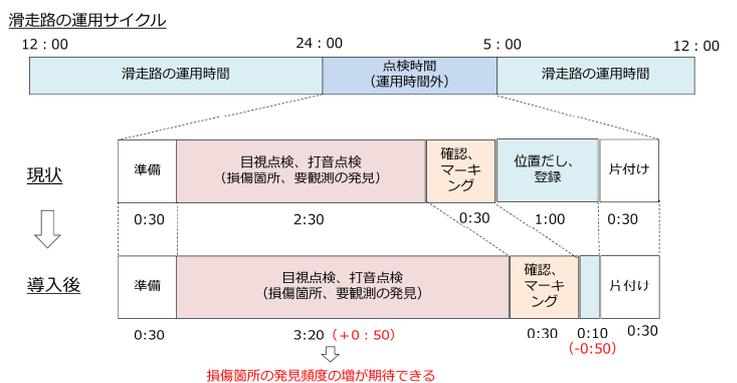


図-12 日常点検における各作業時間の変化

## 7. おわりに

本技術開発は、複数年に亘る研究を行なってきたおり実用化が可能となる段階となっている。今後は、実用化（商品化）に向けた最終段階をふまえた対応を進めるとともに、更に機能の向上に創意工夫を重ね、多くの空港舗装の維持管理に用いられるよう努めていきたいと考える。