



遠隔制御型橋梁点検ロボットシステム 「橋竜」の開発

2010年6月14日

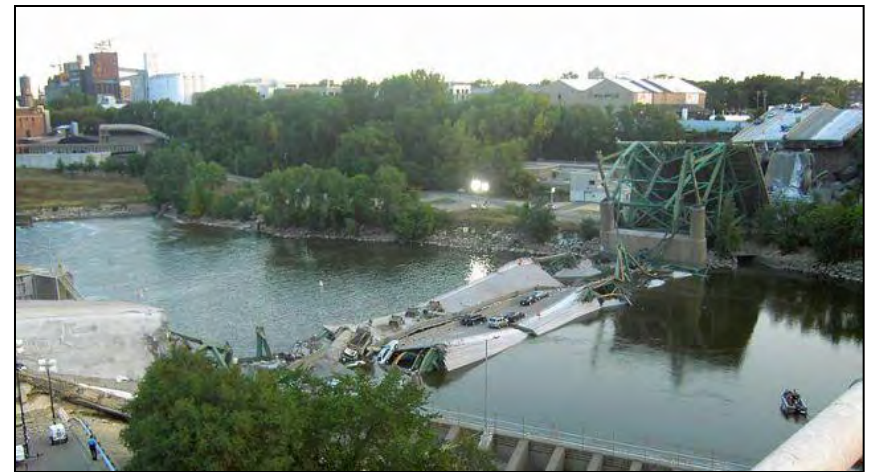
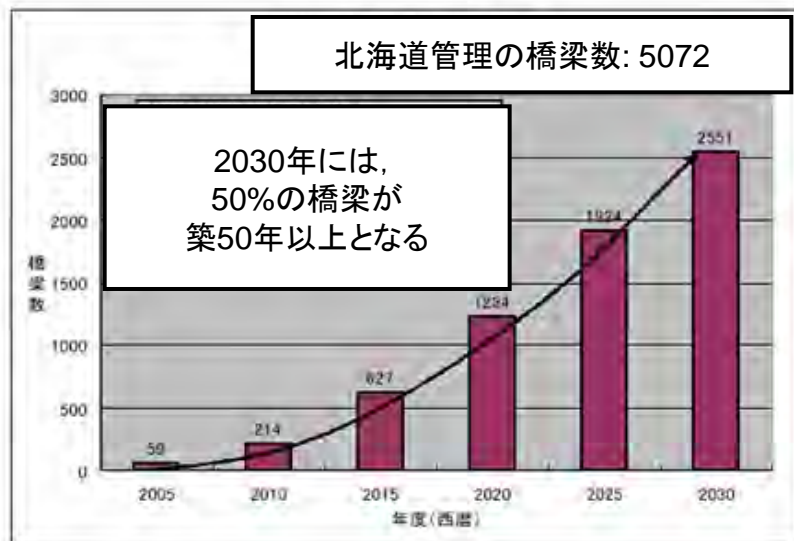
(株)帝国設計事務所 技術開発部 若山 昌信
北海道総合研究機構 情報システム部 堀 武司

報告の内容

- 背景：橋梁の老朽化
- 遠隔制御型橋梁点検ロボットシステム「橋竜」の開発
 - 開発の経緯・実施体制
 - 「橋竜」ハードウェアの概要
 - コンピュータ支援による点検作業の省力化
- 実用化と事業展開の状況

背景：橋梁の老朽化

- 我が国の橋梁（約67万橋）の多くは高度成長期に建設されたもので、今後老朽化時期（築50年～）を迎える見込みである。



築50年以上となる橋梁数の推移
(出典: 北海道公共構造物長寿命化委員会
報告書)

参考: 米ミネアポリス落橋事故 (2007)
築40年の橋梁が通勤時間帯に突然落橋し、多くの犠牲者が出た。

背景：橋梁の老朽化

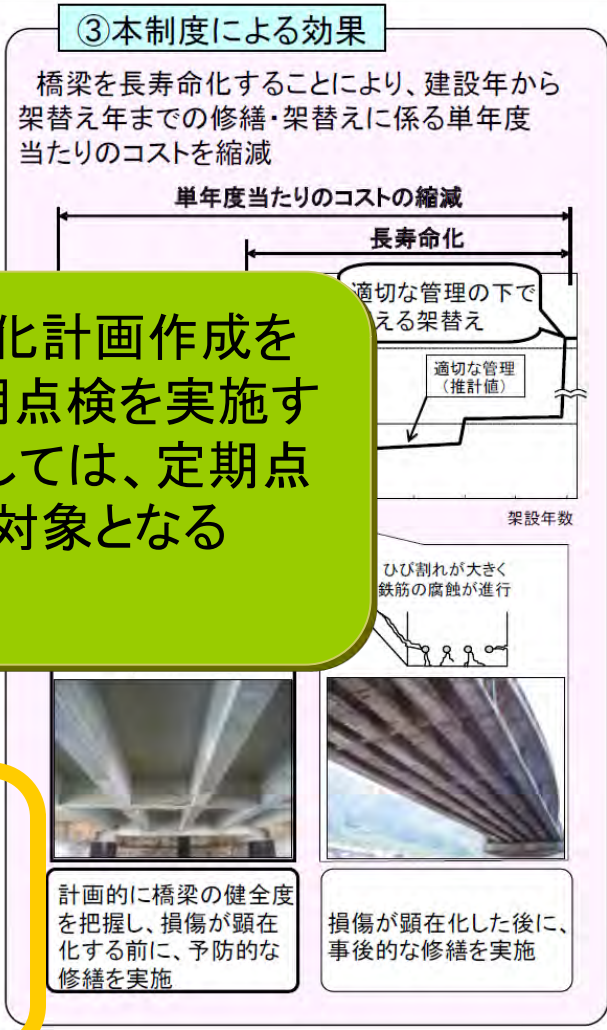
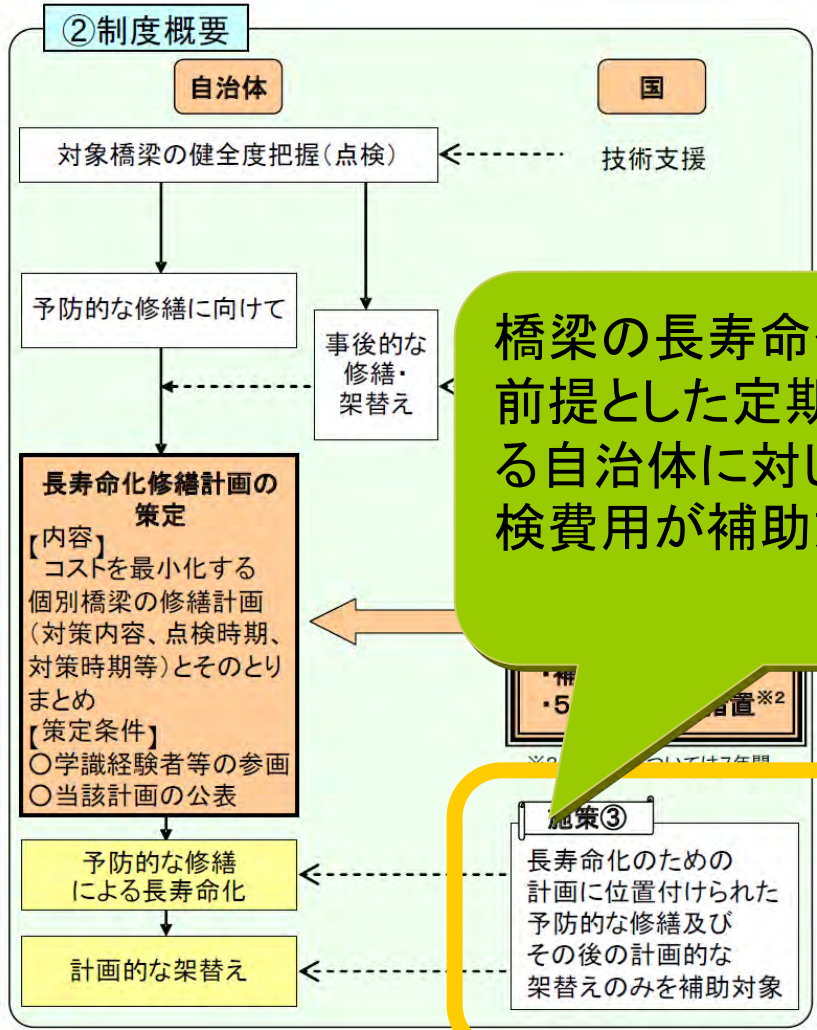
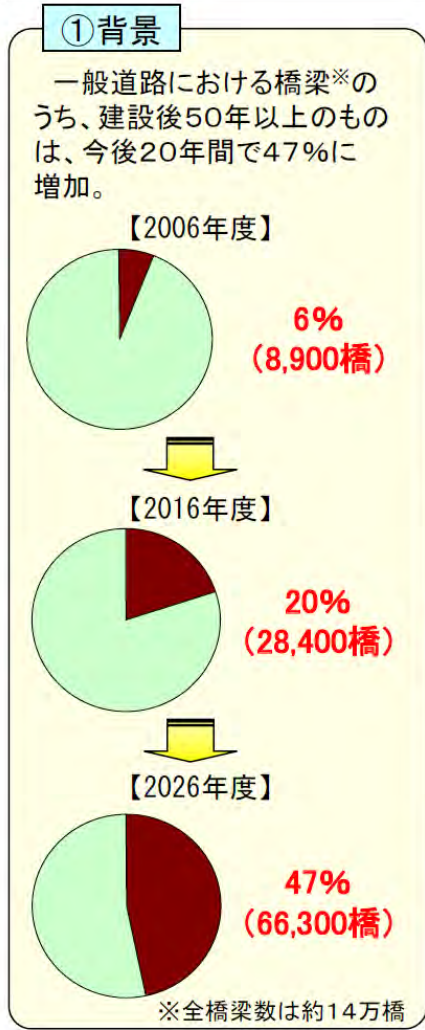
- 公共事業予算の削減により、橋梁の架け替えや新規建設による対応は困難である。



- 適切な維持管理による「既存橋梁の長寿命化」で対応するのが、時代の流れとなっている。
 - 損傷の早期発見、早期補修が重要
 - 計画的な定期点検の実施が必要

長寿命化修繕計画策定事業費補助制度の創設

○今後、老朽化する道路橋が急速に増大。橋梁の長寿命化及び橋梁の修繕・架替えに係る費用の縮減を図ることが重要。
 ○従来の事後的な修繕及び架替えから、予防的な修繕及び計画的な架替えへと円滑な政策転換を図るため、長寿命化修繕計画を策定する地方公共団体に対して、国が支援(当該計画策定に要する費用の1/2を国が補助)。



橋梁の長寿命化計画作成を前提とした定期点検を実施する自治体に対しては、定期点検費用が補助対象となる

橋梁の定期点検作業の実施内容

□ 北海道の場合

- 道が管理する全橋梁(約5,000橋)、5年周期で点検する。
 - 1,000橋/年ペース
- 点検方法は、点検員の目視による外観検査が中心。
- より詳細な内部検査(破壊・非破壊)は、定期点検レベルでは行わない。

定期点検	橋梁の保全を図るために定期的 的に実施し、主に目視及び簡易 的な点検機械・器具により実施 する。	1回/5年
------	---	-------

出典:橋梁維持管理マニュアル(案)改定案
(H21 公共土木施設長寿命化検討委員会橋梁部会資料)

従来の橋梁点検作業：桁下部に直接 接近することが可能な場合

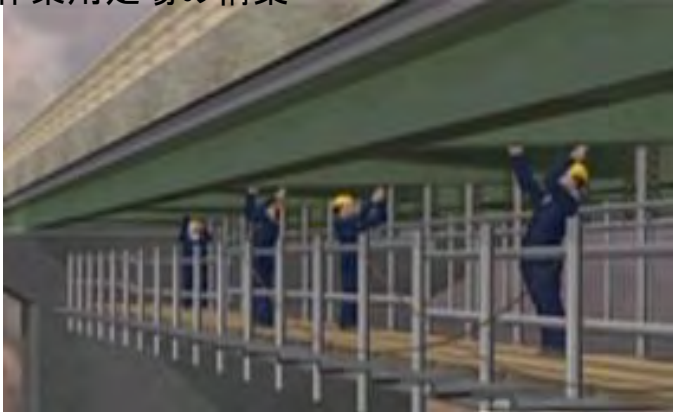



双眼鏡、梯子等を利用して桁下を目視点検

橋梁点検作業の課題：その1

長大橋や、地形の制約がある場合、桁下部に点検員が直接接近する事が困難

従来の工法

	作業用足場の構築	有人型空中作業車
		
コスト	× 非常に高い	△ (特殊機材のため)高い
工期	× 非常に長い	○
安全性	点検員の高所作業を伴うため危険	

橋梁点検作業の課題:その2

点検データの記録管理と報告書作成

□ 現場での点検記録

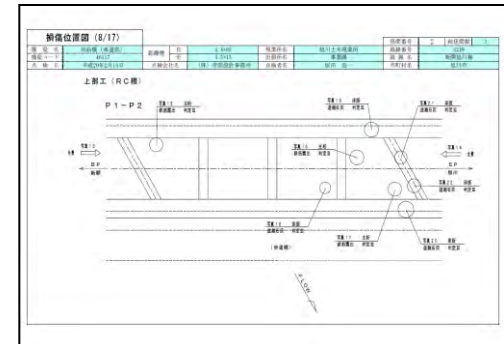
- 点検員による写真撮影
- 損傷の位置や点検コメントを、野帳等へ記入

□ 橋梁点検調書

- 点検業務の最終成果物(報告書)
 損傷箇所の位置と写真・点検のコメント等を記載

□ 課題

- 膨大な写真や記録データの整理作業は非常に煩雑
- 調書作成のための事後作業の工数によって、点検全体のコストが増加



損傷位置図



現況写真台帳

課題その1、その2:

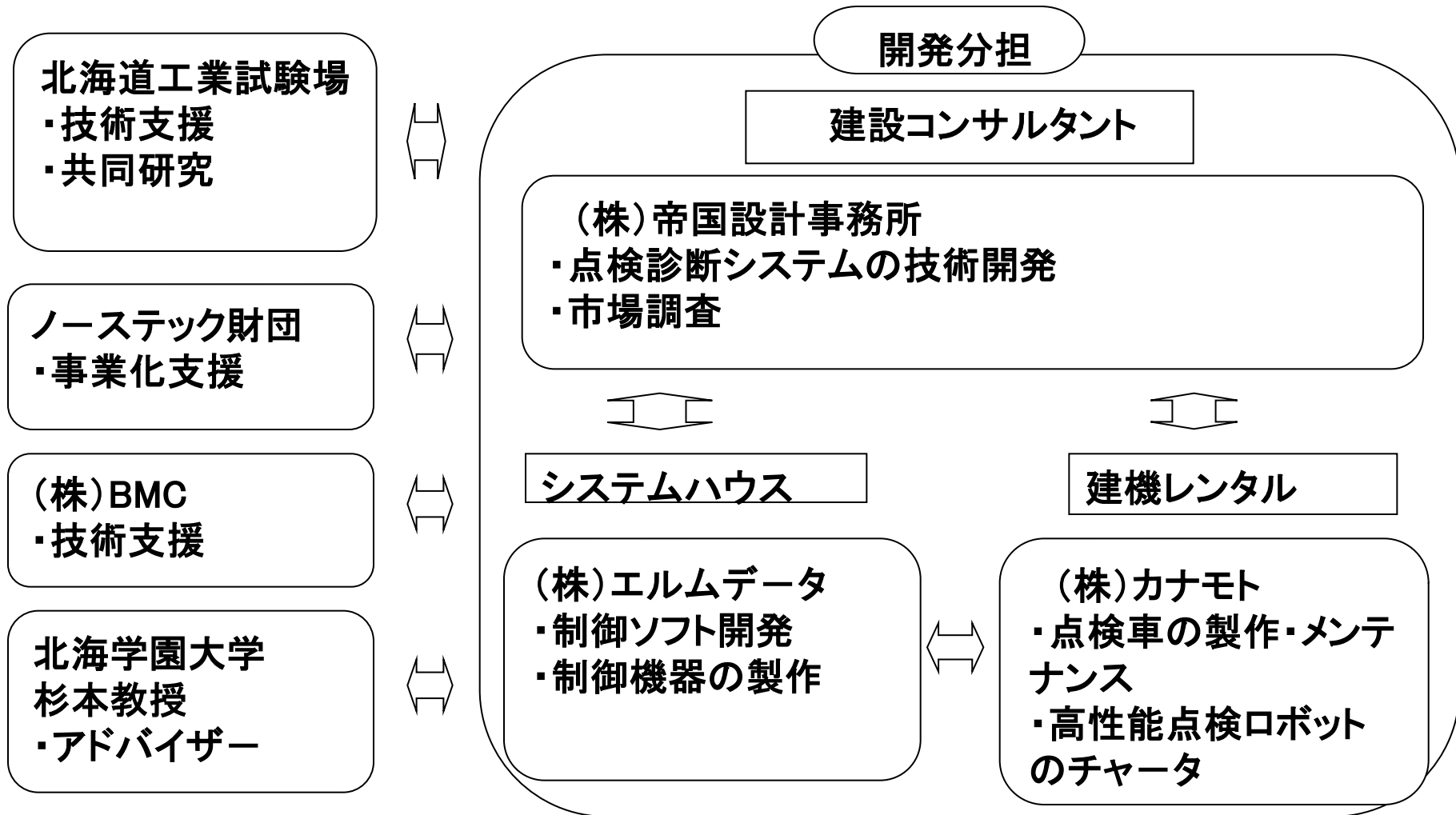
橋梁点検ロボットシステム「橋竜」の開発

- 開発体制: 担い手企業 2社を中心とする共同開発
 - (株)帝国設計事務所
(建設コンサルタンツ)
 - (株)カナモト
(建設機械レンタル)
- 開発コンセプト: カメラ搭載ロボットアームを用いた「橋梁下面の遠隔画像点検」技術の開発

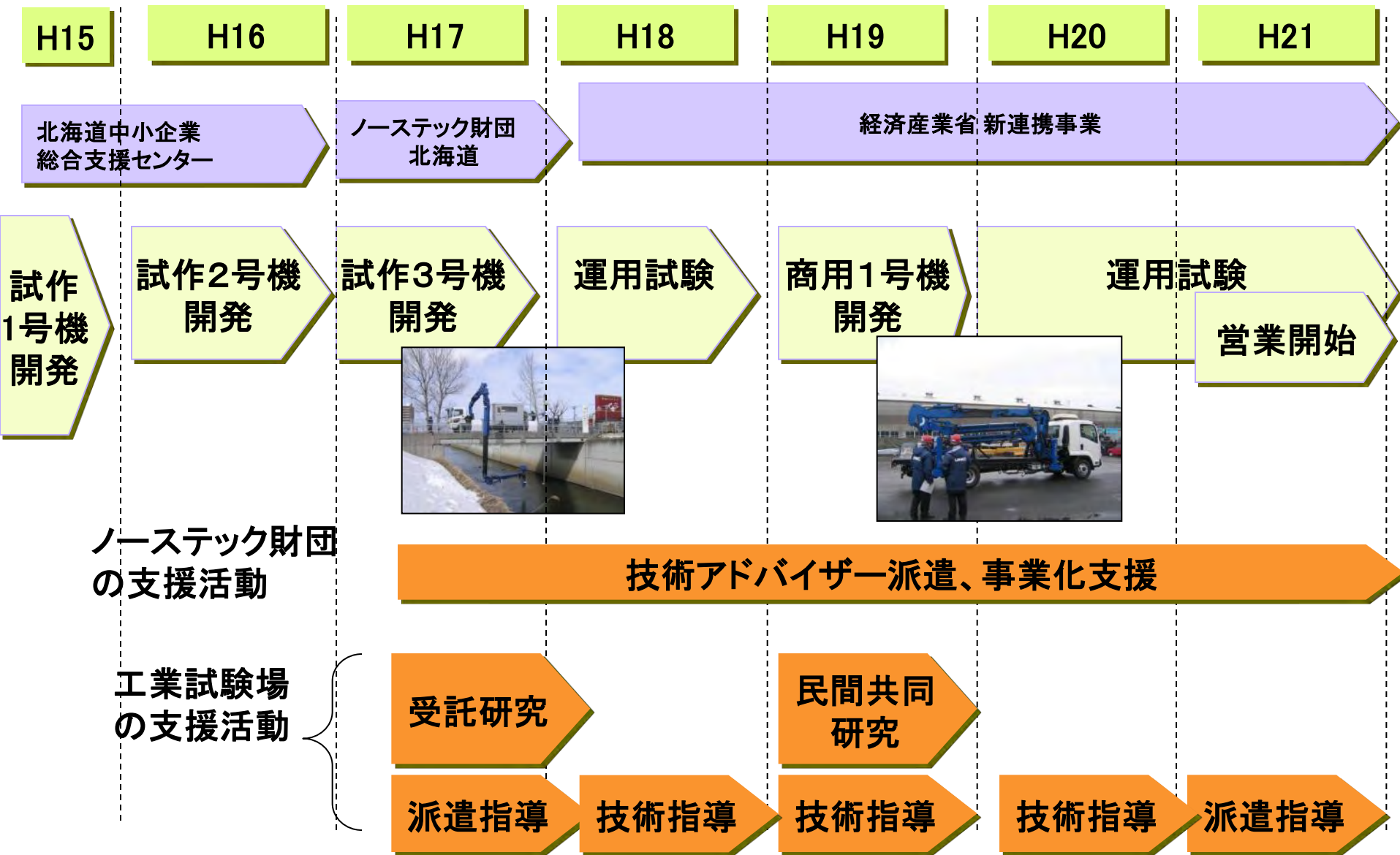


橋梁の新規建設需要が減少し、維持管理が中心となる社会情勢に対応し、新たなビジネス展開を目指す

研究開発の実施体制 (平成18年以降)



「橋竜」開発の経過



橋梁点検車の試作1, 2号機

□ 試作1号機

- カメラによる桁下確認が可能
- ワンボックスカーに電動アームを搭載

重量オーバー



□ 試作2号機

- 4トントラックにアームを搭載
- アームの制御は車外で行う方式

橋梁下面に誘導員が必要



試作3号機、商用1号機

工業試験場の技術支援を受けて
車載コンピュータシステムの搭載

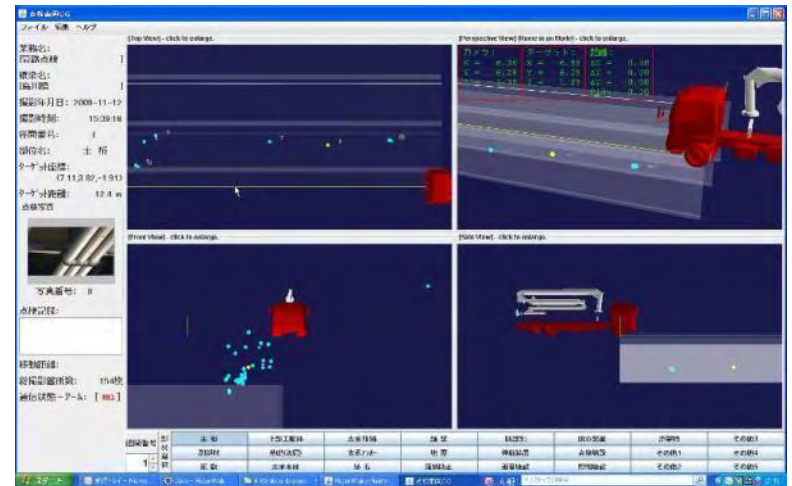
- ソフトウェアの試作開発

□ 試作3号機

- システム全体の設計
- 搭載センサ・機器の選定と評価試験
- 車輻ネットワークの設計・システム統合

□ 商用1号機(開発企業が製作)

- 試作機からの改良



「橋竜」ハードウェアの概要 車輜・搭載機器



橋竜 ハードウェア: ベース車輻

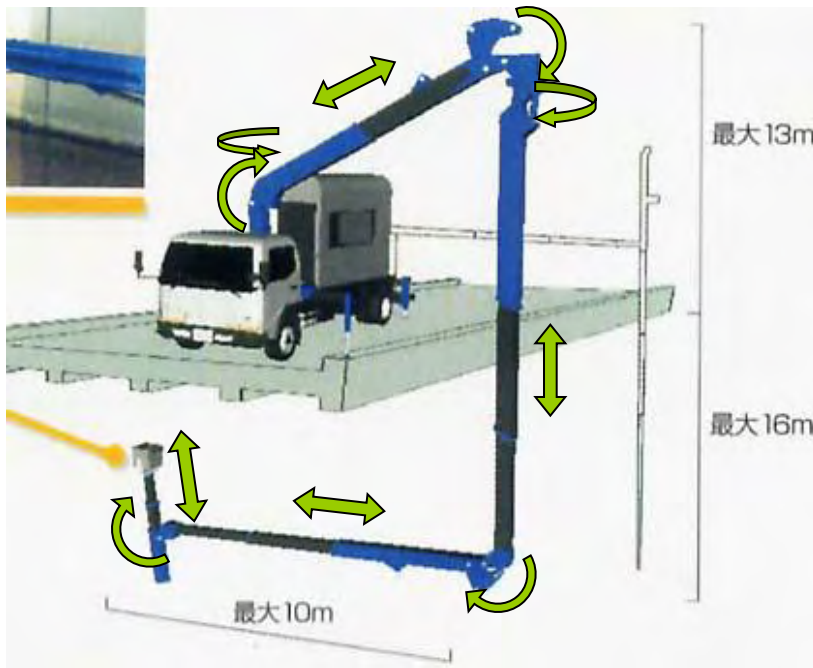


車輪付きアウトリガ

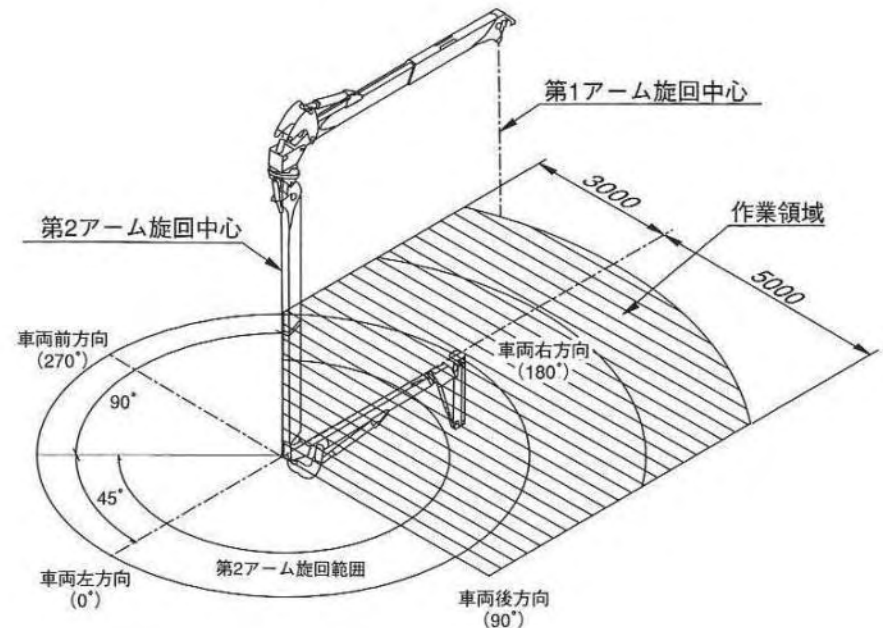
□ 車輻

- ロボットアームと点検機器全てを、4tトラックに搭載。
- 有人型の点検車両と比べて、橋梁の幅が狭い箇所でも適応可能。
- アウトリガーは車輪付きとしたため、移動しながら点検が可能。
- 中型自動車免許で運転可能。

橋竜 ハードウェア:点検用ロボット アーム



アーム可動部



アームの作業範囲

- 4関節・10自由度を持ち、油圧により駆動。
- 橋梁の端部から内側約10mまでの範囲で作業可能。
- 有人バケットが入れない、狭い点検箇所にも対応可能。

橋竜 ハードウェア：点検用センサ 機器



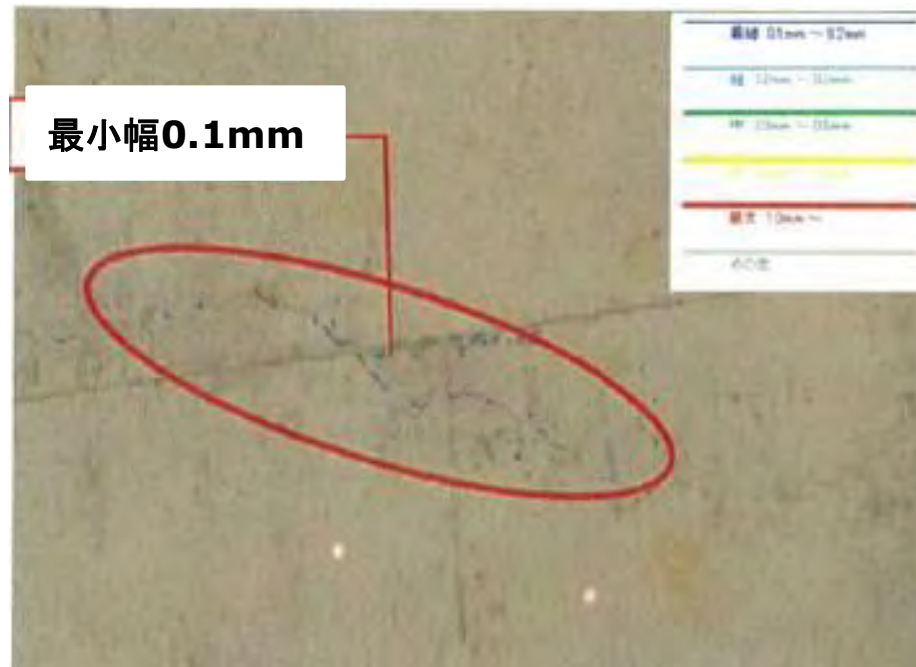
- 点検用機器(アーム先端)
 - 雲台(2軸可動式)
 - ハイビジョンビデオカメラ
 - 静止画 300万画素
 - 動画 約200万画素(1080i)
 - レーザ距離計
 - 照明装置

- 障害物監視用センサ
 - 監視用ビデオカメラ × 5台
 - 超音波式 近接センサ

- その他
 - (車輜)走行距離計

画像点検の能力

- 一般的な作業条件において、0.1mm幅のコンクリートひび割れを発見可能
- 点検員による目視点検とほぼ同等の検査能力を持つ
→ 従来の目視点検作業を「橋竜」で置き換え可能



ひび割れ部撮影画像の例

橋竜 ハードウェア：点検作業室 (トラック運転席と共用)

- 運転席から、点検に関する全機器の操作が可能
 - アーム、雲台制御卓
 - ハイビジョンモニタ
 - 点検支援用PC × 3
- 作業要員
 - オペレータ(アーム操作)、点検員(雲台操作、点検診断)の2名のみで運用可能(交通整理等の要員を除く)
 - 従来工法と比べ、大幅な省力化と人員削減を実現



コンピュータ支援による点 検作業の省力化



点検作業支援システム コンセプト

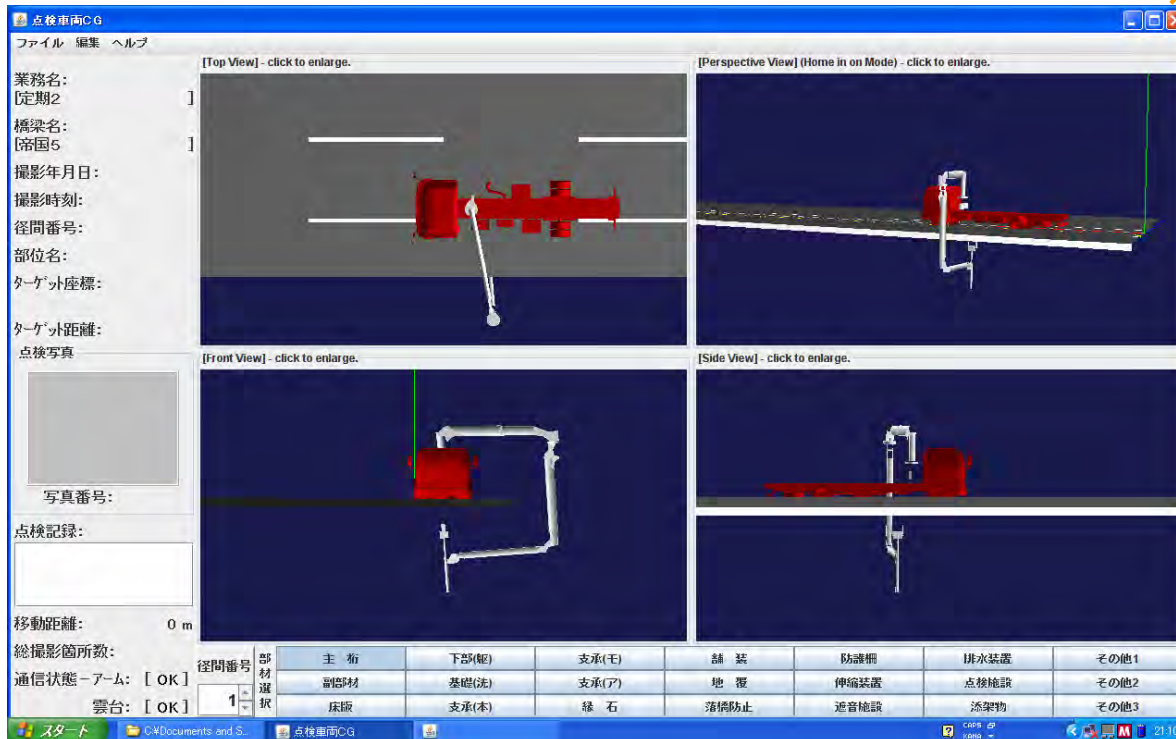
- アーム＋カメラによる遠隔点検システムは、類似の製品が既に存在していた。
- 「橋竜」に搭載する遠隔支援システムは、単なる「リモコン操作カメラ」ではない、より高次元な作業効率化を目標とする。



- 「橋竜」点検作業支援システム
 - ロボットアーム・カメラ・センサは全てコンピュータ制御
→ 点検データの記録・管理を自動化する。
 - 「画像」と「位置情報」の関連づけ
 - 点検中のアーム動作等の3次元CG技術による情報可視化

作業環境のCG技術による 3次元可視化

- 車輻や点検アームの位置・姿勢を、3次元CGによりリアルタイム可視化表示
- CG画面とカメラを見ながらロボットアームの遠隔操作が可能。



応用例：点検作業の事前 シミュレーション

入り組んだ構造の橋梁の場合、アーム展開や予定箇所の写真撮影が可能かどうか、仮想3D空間上で事前シミュレーションが出来る。

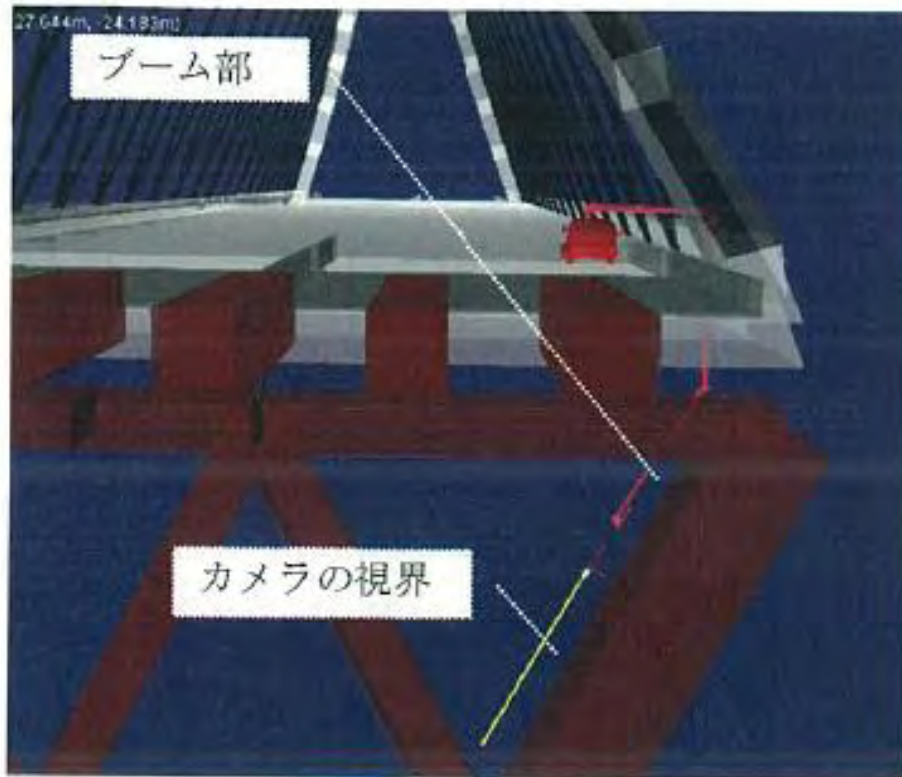


図6 CGシミュレーションを用いた事前確認

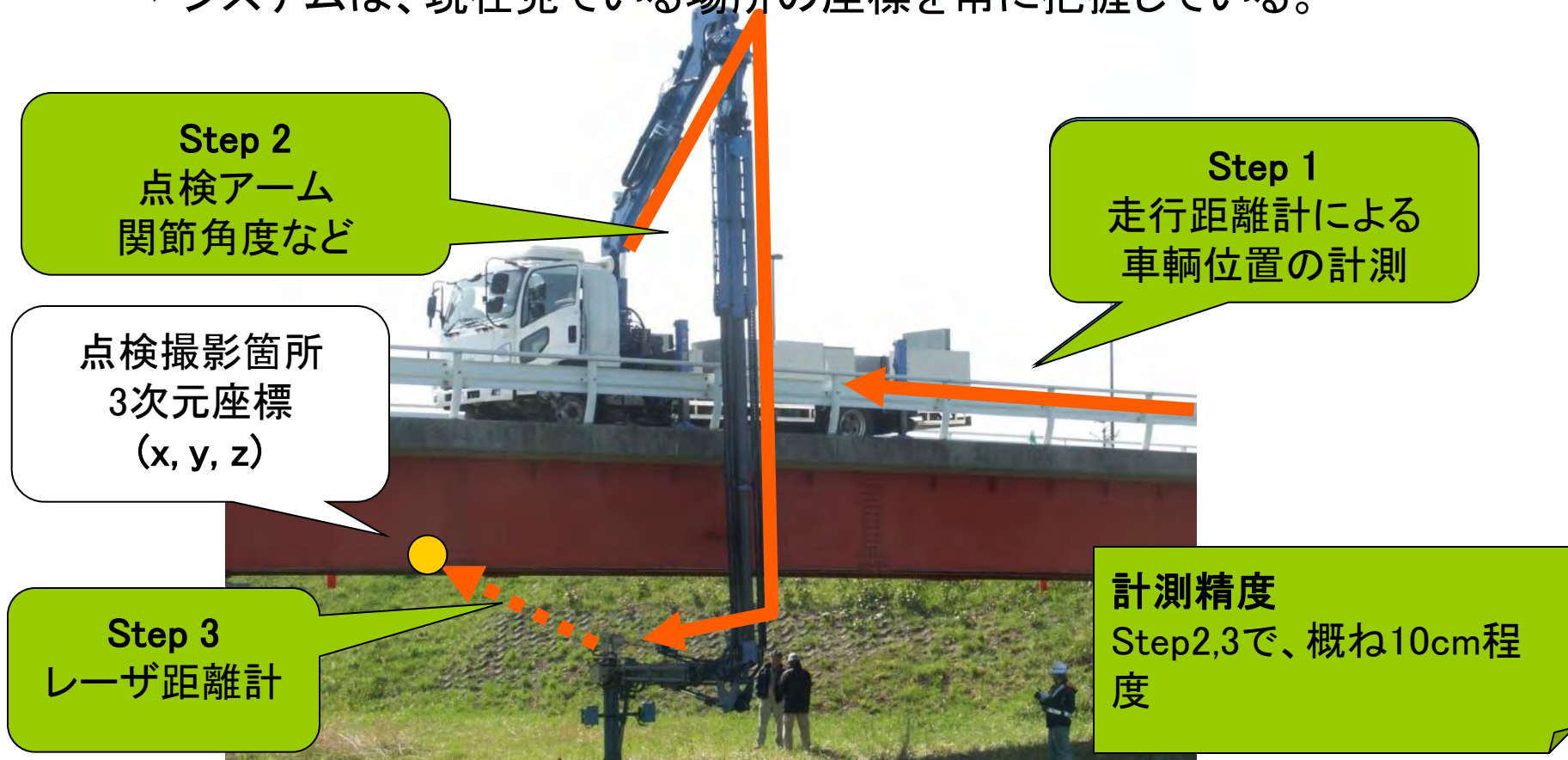


図9 海P100の点検状況（山側より）

損傷箇所の写真撮影と 位置情報取得

搭載された各種センサの情報を用いて、カメラ撮影箇所の位置を3次元座標(橋梁基準座標系)として自動的に計測する。

→ システムは、現在見ている場所の座標を常に把握している。



点検箇所的位置データ表示

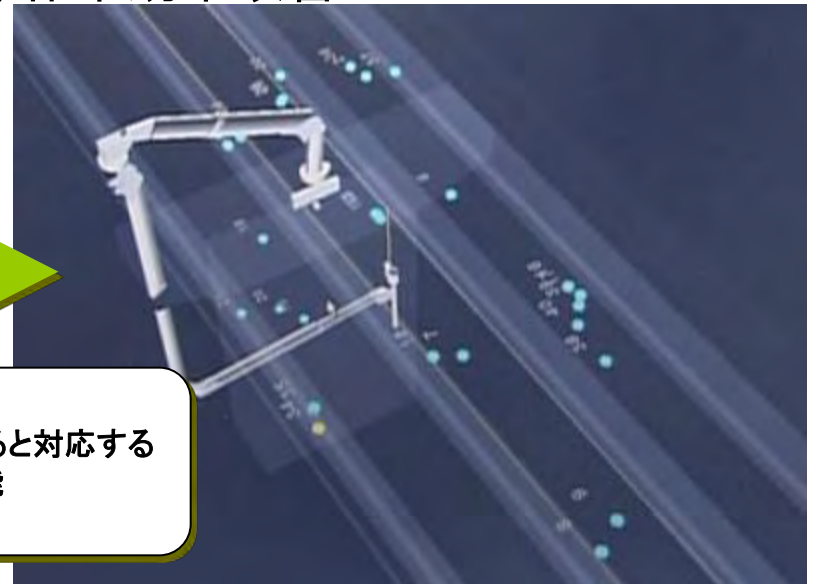
- 点検データと位置(座標)を対応付けて、車載PC上のデータベースに自動記録
- 点検(写真撮影)箇所、ロボットアームの移動軌跡などをCG画面上にマーカとして表示し、視覚的に把握可能
 - 点検作業の漏れや重複を防止し、作業効率改善



点検写真データブラウザ

点検番号	撮影時刻	写真	注視点座標	視点座標	カメラ	点検番号	部材名
1	008年 1月 8日 15時49分01秒		X: -5.84 Y: -0.51 Z: 1.46	X: -5.84 Y: -0.51 Z: 1.46		1	主桁
2	008年 1月 8日 15時49分09秒		X: -5.84 Y: -0.51 Z: 1.46	X: -5.84 Y: -0.51 Z: 1.46		1	主桁
3	008年 1月 8日 15時49分12秒		X: -5.84 Y: -0.51 Z: 1.46	X: -5.84 Y: -0.51 Z: 1.46		1	主桁
4	008年 1月 8日 15時49分12秒		X: -5.84 Y: -0.51 Z: 1.46	X: -5.84 Y: -0.51 Z: 1.46			
5	008年 1月 8日 16時46分40秒		X: 3.49 Y: -0.86 Z: -2.06	X: 3.47 Y: -0.11 Z: 0.05			

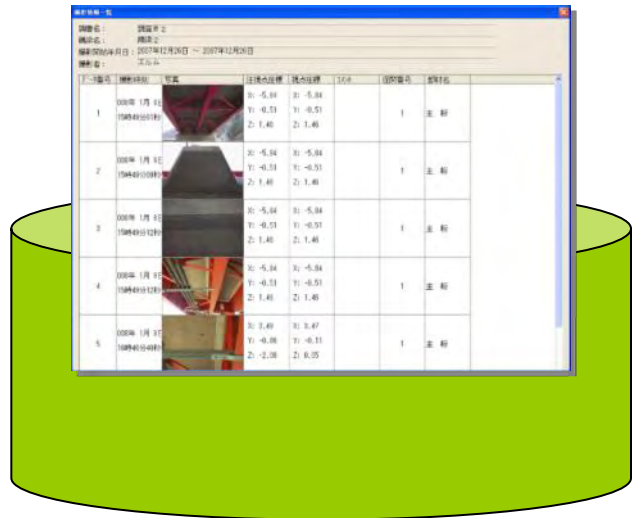
3DCG上のマーカをクリックすると対応する
写真呼び出し可能



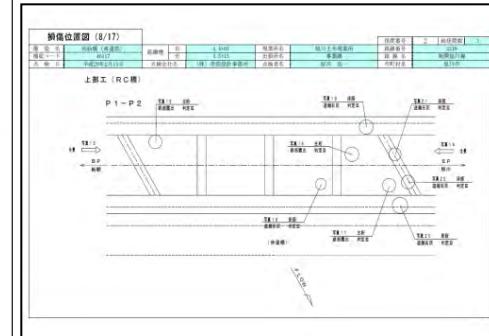
点検写真データブラウザ

CG画面上の位置マーカ表示

橋梁点検調書の自動作成



自動作成



点検記録データベース

写真データ+メタデータ

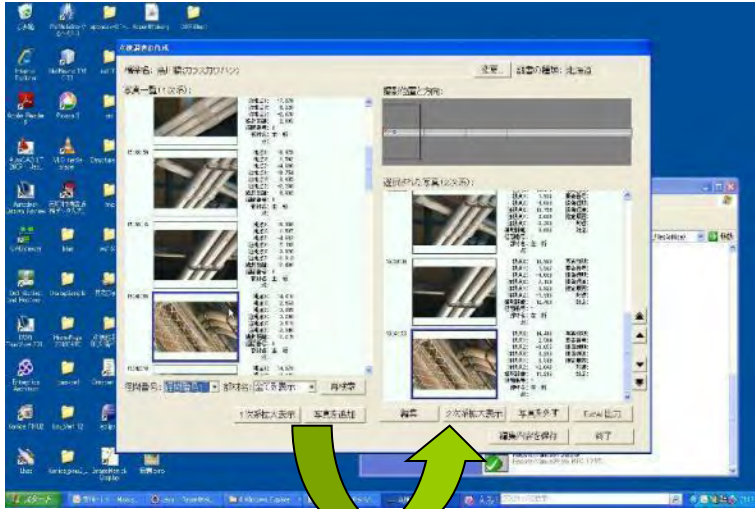
(撮影位置座標、時刻、点検コメント)

橋梁点検調書

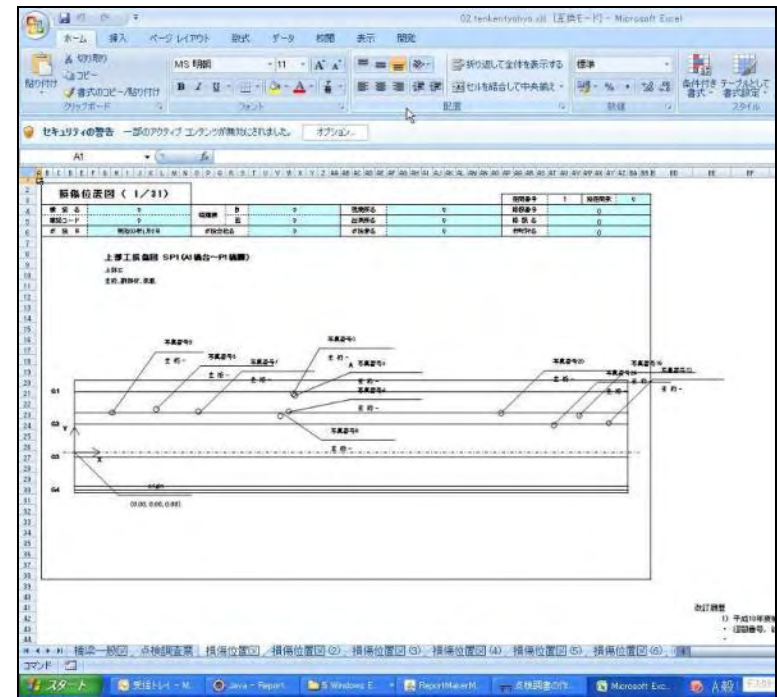
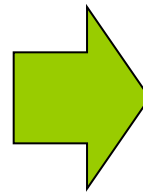
- ・現況写真台帳(写真+点検記録)
- ・損傷位置図

点検記録の整理、調書作成など、現場作業以上に
工数を要していた作業に関して、大幅な省力化を実現

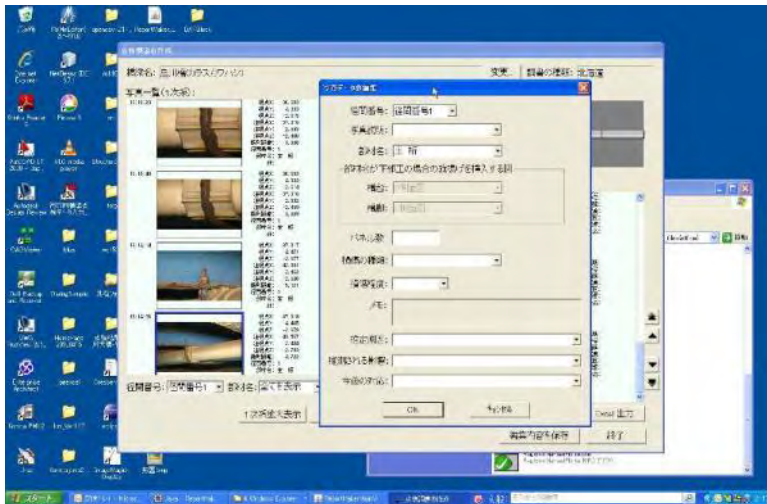
橋梁点検調書の自動作成方法



DB上で必要な写真を選択



MS-Excel データ形式で出力



点検コメントなどを追加

「橋竜」実用化と 事業展開の状況



販路開拓のための市場調査

- 北海道内を始め、全国各地の橋梁管理者に、市場調査及び実機による、デモンストレーションを実施した。
- 平成18年度
 - 開発局 1件
 - 道、市町村 5件
- 平成19年度
 - 国土交通省関連 4件
 - 自治体関連 8件
- 平成20年度
 - 国土交通省関連 4件
 - 自治体関連 2件
 - 高速道路他 3件
- 平成21年度
 - 高速道路他 3件
 - 通信会社関連 6件
 - 自治体関連 3件



※各地でデモンストレーションを開催

市場調査・実地評価試験の結果

- 3DCGによるデータ管理システムに関して、道路管理者の評価が非常に高かった。
- 「橋竜」でしか実施出来ない、特殊な点検のニーズが予想以上に多い事が判明した。



桁下と水面との間隔が小さい橋梁
川の流が速く船での点検は不可



人が乗るタイプとの比較試験



構造が複雑な長大トラス橋、
桁下と水面の間隔が大きい橋梁

市場調査・実地評価試験の結果

□ 車輻のコンパクトさ

- 構造の複雑なトラス橋等でも点検を実施できた。
- 1車線のみでの交通規制(占有幅2.85m)で、点検を実施出来た。

□ 省力化・人員削減

- 本州方面の51橋の橋梁点検を2名(オペレータ+点検員)及び点検調書作成を1名(点検員)で実施出来た。
- 点検データ記録管理の自動化により、損傷箇所の見落としや位置の誤記などがなくなり、作業効率が改善。

ビジネス戦略の転換

□ 当初想定していた対象分野

- 維持管理予算が乏しい市町村管理の橋梁を対象
- 従来よりも低コストで点検が可能



□ 現在の主な対象分野

- 「橋竜」でしか点検出来ない特殊な橋梁を対象
- 点検データのデータベース化を希望する発注者
→ 相対的に高い価格での業務受注が期待出来る

事業化の状況

□ 橋梁点検受託サービス

- 現有の機材(商用1号機)を用い、チャーター方式による点検業務の受託サービスを行っている。
- (株)カナモト ... 車輛貸し出し+オペレータ
- (株)帝国設計事務所 ... 点検員の派遣+点検調書作成

□ 実績

- H21年度下期より本格的な商業運用を開始
- 通信関連会社から、多数の添架管点検業務受託実績
- 道路管理者から、特殊な条件の橋梁点検業務受託実績

□ 新技術の登録

- 国土交通省(NETIS)、北海道、首都高速道路

□ 「橋竜」車輛システムの量産と販売

- 現在検討中

まとめと今後の課題

□ まとめ

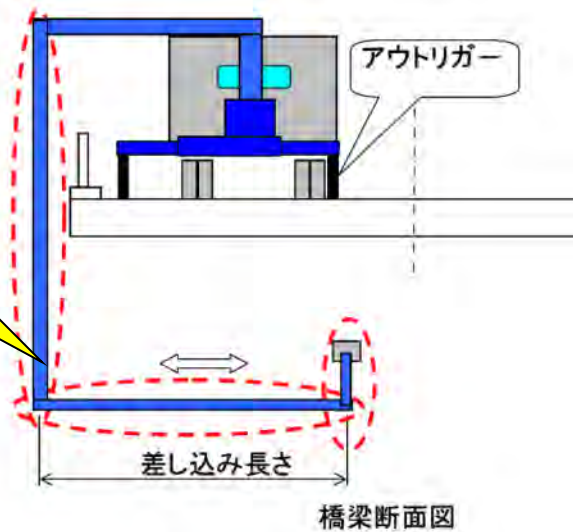
- 橋梁桁下部の目視点検を迅速、低コスト、安全に行う遠隔点検ロボット車両を開発した。
- 点検位置計測とコンピュータ化されたデータ処理の連携により、現場での点検作業から点検診断調書作成までの一連の工程に関して、大幅な省力化を実現した。
- 道路管理者、通信関連会社から高い評価を受け、実際の業務受注、ビジネス化に繋げることが出来た。

□ 今後の課題

- ロボットアーム、点検用機器の能力向上
- 点検データ管理・調書自動作成機能の高度化
 - 事業者ごとに異なる診断調書フォーマットへの柔軟な対応
 - 最終的には、事業者が運用する道路管理情報システムとの直接接続

橋梁点検ロボットシステムの アーム改良手法募集

アームの
軽量化・長尺化
アイデア募集



アームの基本仕様

	駆動方式	たわみ	制御	差し込み長さ	アーム重量
現行機	油圧	10cm以内	遠隔	10m	4t
求められている長さ		10cm以内目標	遠隔	15m	4t