



土木施設の維持管理・更新に AI技術を取り込む上での 課題と展望

技術推進本部
有田幸司

目次

1

はじめに

土木施設の維持管理・更新に求められていること

AI技術を取り込むことで期待されること

AI技術の進展の見通しと課題

AI技術を取り込む上で求められていくこと

おわりに

AI(Artificial Intelligence)技術が飛躍的に発展

特徴表現学習の一種

新しい機械学習の方法「ディープラーニング(深層学習)」の登場

多くの分野での活用に期待

人工知能技術戦略会議

人工知能技術戦略 2017.3.31

人工知能技術戦略実行計画 2018.8.17

AI技術の開発・利用に向けて

国際的な議論のためのAI開発ガイドライン案 2017.7.28

AI利活用原則案 2018.7.17

AI・データの利用に関する契約ガイドライン 2018.6.15

センサー技術、ICT技術も進展

高精細なカメラ、レーザー、レーダー

大量のデータを蓄えるストレージ（コンパクト化、クラウド利用）

高速処理可能なICT基盤

土木分野での活用にも期待

国土・土木とAI懇談会(土木学会平成29年度会長特別委員会)

国土管理における土木とICTの融合に関する提言、2018.5.24

官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）FY2018～

革新的建設・インフラ維持管理技術／革新的防災・減災技術

土木施設の**維持管理・更新**における課題

膨大な作業を知識や技能を有する多くの労力に頼ってきた
今後ますます人材確保が難しくなることが予想される
如何にその省人化と知識の継承を図っていくかが課題

センサー技術、ICT技術、AI技術を維持管理・更新
に上手く取り込み、省人化や生産性・コスト効率の向上を
図ることが求められている

本発表では特に**AI技術**を取り込む上での課題と展望を紹介

はじめに

土木施設の維持管理・更新に求められていること

AI技術を取り込むことで期待されること

AI技術の進展の見通しと課題

AI技術を取り込む上で求められていくこと

おわりに

供用可能年数は長いものの**余命**を正確に管理することは難しい

建設時の品質の良し悪し

供用後の荷重、化学的侵食などの影響

排水処理などへの**維持管理・更新の施され方**

損傷・劣化は存在するものの**日々の変化には気づきにくい**

近接し観察する対象として**構造規模が大きい**のが一般的

外見まして**構造内部**について**細部までは掌握しづらい**

目視可能な距離に**近づくだけでも大きな労力**

設計情報がなくとも現状有姿で機能させている場合も

河川堤防などにおいて**内部構成の詳細不明**な場合がある

建設時の**応力計算資料**が手元に**ない**橋梁等の構造物もある

損傷・劣化メカニズムがある程度**解明**できている場合も

鋼構造物

コンクリート構造物

アスファルト舗装

(ほか)

変異の原因が解明されていない場合も

土工構造物などのように**直ちに変異の原因を特定**することが一般的に**困難**な場合もある

更に変異が進行した場合に**崩壊に至る可能性**やその**時期を予測**することが**容易でない**場合もある

土木施設と一体となって機能を発揮する機械設備や電気設備

必ずしも供用可能年数が**長いものではない**

広範囲に点在しており**定期点検の技術者**や**非常時の操作員**の確保が課題

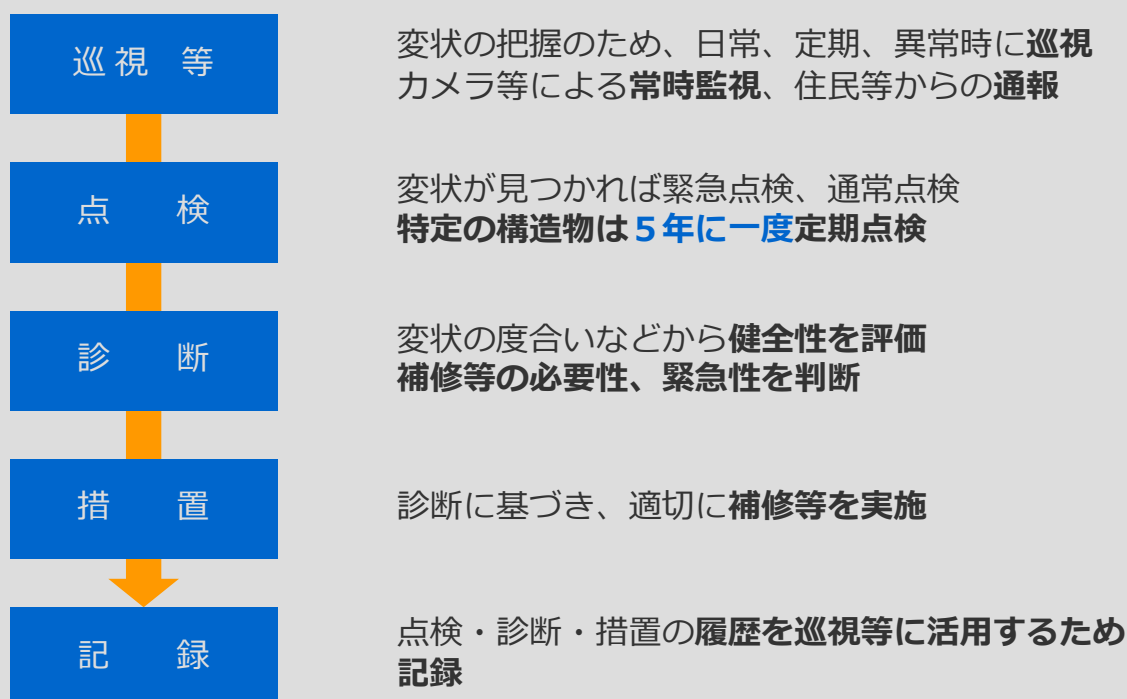
ときに同時達成が困難となる二つの使命

- ① 崩壊や落下による**人命や財産への危険の回避**
- ② 機能の停止や低下による**負の影響の最小限化**



危険な因子を減らし、**機能の発揮**が増進できるよう
維持管理・更新を実施

補修などの判断に係る変状把握・分析の流れ



点検に求められる技術的事項

一定の知識および技能を有する者が
近接し目視、打音、触診等により変状を観察し記録

課題

経験ある人材の確保

近接するための足場等の確保

観察データから有意な抽出し記録する情報の精度のばらつき



労力と手間が大きく掛かるものとなっており、
費用の面からも技術力の面からも効率化が重要

診断に求められる技術的事項

必要な知識や経験を備えた技術者が
部材や構造物に対して措置する必要の緊急性等を
評価して区分

課題

経験ある技術者の確保

一見同じ変状であってもその原因や発生メカニズムは多様

劣化シナリオが明確でない場合もある



信頼性の確保のため、技術力の効率的な投入が重要

健全性の診断時における判定区分(イメージ)

I. 健全

変状はない、もしくは変状があっても対策が必要ない
(機能に支障が生じていない状態)

II. 予防保全段階

発見された変状等から、近い将来その構造物が特定のシナリオによって機能を低下させることが予測されるものについて、具体的な機能の低下が発生する前に対策を講じることで効率的に保全を行える

(機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講じることが望ましい状態)

対象となる構造物の劣化シナリオがある程度明確

II. 経過観察段階

変状が確認され、変状の進行度合いの観察が一定期間必要

(機能に支障が生じていないが、別途詳細な調査の実施や定期的な観察などの措置が望ましい状態)

対象となる構造物の劣化シナリオが不明確

III. 早期措置段階

変状が確認され、かつ次回点検までにさらに進行すると想定されることから構造物の崩壊が予想されるため、できるだけ速やかに措置を講ずることが望ましい

(機能に支障は生じていないが、次回点検までに支障が生じる可能性があり、できるだけ速やかに措置を講じることが望ましい状態)

IV. 緊急措置段階

変状が著しく、大規模な崩壊につながるおそれがあると判断され、緊急的な措置が必要

(機能に支障が生じている、または生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態)

変状等のデータを取得、蓄積、分析する技術の活用

センサー技術、ICT技術、AI技術を維持管理・更新に上手く取り込み、省人化や生産性・コスト効率の向上を図ることが求められている

首都高速道路(株)の *i-DREAMs*[®]

カメラ、レーザー、近赤外線などのセンサーで得た大量のデータからAI技術を活用して構造物の変状を早期に認知し、別途構築している三次元点群データと突合して記録することで即応的な対応と点検作業の効率化を図るスマートインフラマネジメントシステム

現在、開発、運用に向けた取り組みを進めており、その過程と成果に注視していきたい





目次

はじめに

土木施設の維持管理・更新に求められていること

AI技術を取り込むことで期待されること

AI技術の進展の見通しと課題

AI技術を取り込む上で求められていくこと

おわりに

AI技術の活用が期待される業務

状況把握、反復と再現、予測・シミュレーション、
要因把握など「**データから**その**特徴的な情報を**
抽出・推論させる業務」に期待

(具体的に活用が有望視されている分野)

ヒト・モノを見つける、事象・状態を監視する、
異常を見つける、傾向を認識する、分析材料を常時収集する

特に**画像認識技術**の活用が広がっている
ディープラーニングにより目を凌ぐレベルに

土木施設の維持管理・更新で活用が期待できる場面

非常用機械設備等の異常検知・診断の支援

点検業務の効率化

診断時の判断における信頼性の向上

非常用機械設備の故障診断

軽負荷短時間の管理運転

振動解析やオイル分析等により故障を診断

課題

軽負荷短時間の管理運転により本運転の調子を予測する体系的な診断技術が未確立

故障検知できる範囲が限定的

故障がある程度進行しないと把握困難

本運転時の状態監視データの常時モニタリングができていない



状態監視データを常時モニタリングし、**AI技術**により異常検知率を改善し確実な運転を確保

土木施設の点検業務の効率化①

23

省人化、単純作業への置換

専門的知識や技能を要する**作業の外部化**

更に単純化された**作業の自動化**

課題

近接し目視等により変状を観察し記録する上で必要な**知見を機械的に提供**できる外部支援体制の構築

高速処理可能なICT基盤の確立



現場で取得した画像データなどの観察データを外部の**AI**に送り、分析結果を現場に返す技術の実装化

近接するための足場等の省略

点検ロボット

人の代わりに近接し観察したデータを取得する機械

カメラ、レーザー、レーダーなどの**遠望センサー**

課題

一定の知識および技能を有する者が、近接し目視、打音、触診等により変状を観察し記録することとしている技術水準に対して、**技術の特性に応じて適用範囲をどう拡げるのか**



点検ロボットが取得した3次元データを分析活用する**AI技術**を開発し、適用範囲の拡大を図る

効率的な点検計画の立案

省人化 作業の外部化、作業の自動化

近接目視（人）の代替 **点検ロボット**、**遠望センサー**

変状に関する情報を効率的に抽出 **センサー**、**AI技術**

現場で即応・記録 **ICT基盤技術**、**ストレージ**

現場で再現 **AR(Augmented Reality)技術**

新たな点検業務の体系に向けて

センサー技術、ロボット技術これらを統合して
活用する**A/技術**など**ICT技術全般の研究開発**の更なる
進展に期待

予防保全段階での診断の推論

劣化シナリオがある程度明確な構造物

発見された変状等から、近い将来その構造物が特定のシナリオにより機能が低下することが予測される場合

変状等のデータとその要因、劣化等の進行状況、具体的な措置内容を同じデータレコードに組み込み、**A/技術**によりデータ分析をすることで、**予防保全段階での診断の推論**ができる可能性がある

詳細調査や定期観察などの措置の必要性を推論

劣化シナリオが必ずしも明確でない構造物

点検業務で変状が確認され、変状の進行度合いの観察が一定期間必要と考えられる場合

変状等のデータとその要因、劣化等の進行状況、具体的な措置内容を同じデータレコードに組み込み、

AI技術によりデータ分析をすることで、**詳細な調査の実施**や**定期的な観察などの措置の必要性を推論**できる可能性がある

二段階方式で効率的で信頼性の高い診断の実現

AI技術を用いて、**安全側に閾値を設定**



一次

土木施設に潜んでいる症状を**見落とす危険を回避**
簡便に損傷箇所**の一次選別を実施**

二次

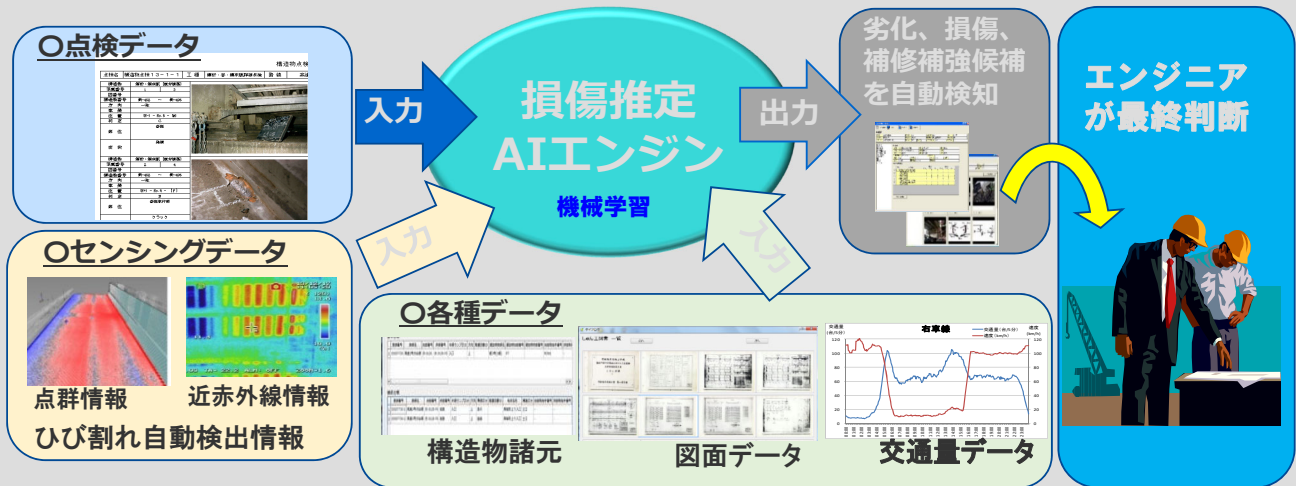
抽出損傷箇所に人的資源等を**集約投入**して診断



効率的で信頼性の高い診断の実現

(点検データ + センシングデータ + 交通量等各種データ) × AI

構造物の劣化状況や損傷の進展を精度良く推定し、補修時期や補修工法の決定等が実現 → **予測保全へと進化**



© Metropolitan Expressway Company Limited 2018

目次

31

はじめに

土木施設の維持管理・更新に求められていること

AI技術を取り込むことで期待されること

AI技術の進展の見通しと課題

AI技術を取り込む上で求められていくこと

おわりに

現時点で到達している段階までのAI技術を対象に

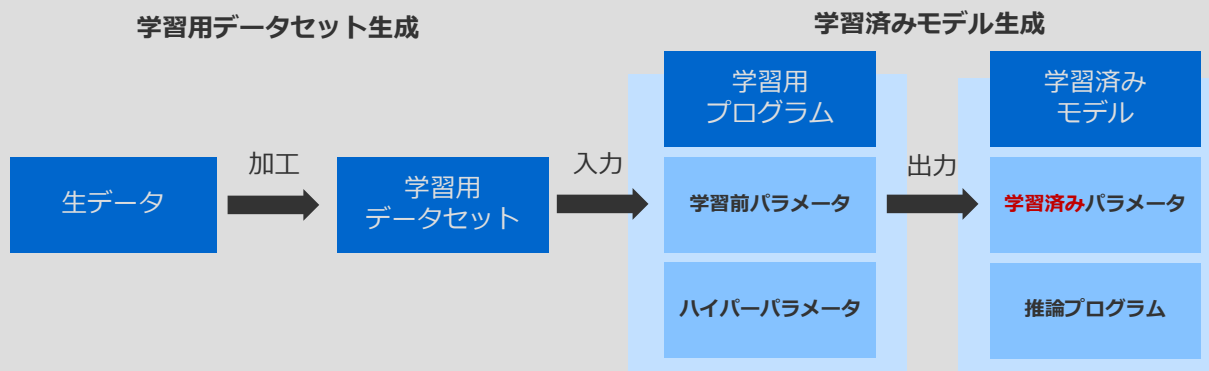
- ① 与えられた**ルール**に基づき推論
- ② 与えられた**明示的知識**に基づき推論
データの中のどこに注目するか
- ③ 人が定義した**特徴量**と与えられた**データ**を**機械学習**することにより、自ら**暗黙的知識**を習得しそれに基づき推論
プログラム自身が学習
- ④ 与えられた**データ**を**機械学習**することにより、自ら**特徴量を抽出**し**暗黙的知識**を習得してそれに基づき推論

?

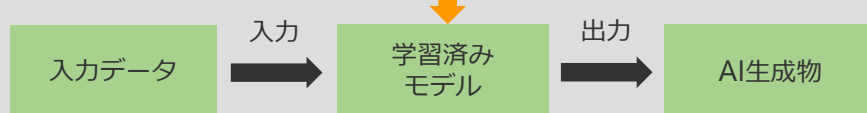
いずれは、人間の知能がプログラミングで実現される？

想定されるAI技術の実用化の過程

【学習段階】



【利用段階】



「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」より抜粋

原理的な限界 ◀ 学習用データセットの統計的な性質を利用

- 1 学習時と推論時の**確率分布**が大きく異なるような場合には機能しない場合があり得る
- 2 学習用データセットに通常性質が反映されない「**まれな事象**」に対して推論が及ばない可能性がある
- 3 学習用データセットから**統計的なバイアス**を排除することは不可能であり、生成された学習済みモデルを未知データに適用する場合には本質的に誤差が含まれることになる

「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」より抜粋

推論にたどりついた理由の説明が困難

機械学習により習得した**暗黙的知識**に基づく推論

学習用データセットや学習プログラムの違いにより、生成される**学習済みパラメータ**やその**推論の結果**が異なってくるが生じうる

新たな因果・相関・仮説に係る「気づき」のきっかけ

推論結果への帰納法的な考察

学習用データセットに対する感度分析



新たな技術的因果関係に係る仮説を打ち立て検証する
など新たな技術研究開発のきっかけとなりうる

要求品質をどう設定し確認するのか

在来の同様の業務と対比し設定することで
全体成果の要求品質は恐らく設定可能

学習段階における学習用プログラムや推論プログラム
利用段階における学習済みモデル、ICT基盤 など

学習用データセットや他の要素に対して個々の
要求品質をどう設定し確認するのかについては検討課題

土木施設の維持管理・更新の分野においては

現場で作業する人の目視等の精度にばらつきがある

どの程度の精度で責任ある判断を委ねることができるのかが、各現場での目的によって当然異なる

様々な施設が存在しており、また具体的な実証はこれからということに

実装段階における技術評価について

技術評価が必要なのか、仮に必要であるとして何を尺度に評価すればよいのか明示が求められる

AI技術の活用に関する多様な主体による取り組みが進んでいく中で、要求品質とその評価手法について段階的にでも確立されていくべき

四つの問題点

- 1 AI技術の特性を当事者が理解していない
- 2 AI技術を利用したソフトウェアの権利関係・責任関係等の法律関係が不明確である
- 3 ユーザ（=AI技術を利用したソフトウェアの開発を依頼する者）がベンダ（=開発する者）に提供するデータに高い経済的価値や秘密性がある場合がある
- 4 AI技術を利用したソフトウェアの開発・利用に関する契約プラクティスが確立していない

「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」より抜粋

法的な保護の対象はどうなっているか

データ

生データ、学習用データセット、学習済みパラメータ、入力データ、AI生成物 等無体物（情報）、所有権の対象とはなり得ない（民法 206 条、同法 85 条参照）
ただし、著作物や営業秘密または個人情報に該当する場合があり、著作権法や不正競争防止法、個人情報保護法により保護を受け得る

プログラム

学習用プログラム、推論プログラム 等
ソースコード部分は著作権法によるプログラムの著作物として著作権法上の保護を受ける可能性がある（なお、オブジェクトコードに変換されても同様である。著作権法 10 条 1 項 9 号）
アルゴリズム部分は、特許法上の要件を充足すれば、「物（プログラム）の発明」等として、特許法の保護を受け得る

ノウハウ

学習用データセットや学習済みモデルの生成に必要とされるノウハウ 等無体物（情報）、所有権の対象とはならない
ただし、管理されているノウハウの一部には、営業秘密として不正競争防止法上の保護が及ぶ場合や、また、特許法上の発明に該当する場合もある

「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」より抜粋

AI技術に係る契約関係の相場観の確立はこれから

AI技術を利用したソフトウェアの権利関係・責任関係等の**法律関係が不明確**である

AI技術を利用したソフトウェアの開発・利用に関する**契約プラクティスが確立していない**

AI・データの利用に関する契約ガイドライン 2018.6.15

法による権利保護が不備な状況にあっても関係当事者間の契約により権利関係を定めておくことができることを前提とし、**具体的な開発段階に応じた契約の考え方**やその内容における留意事項など広く実務の一助となることが期待される情報が盛り込まれおり非常に有益。常に**最新情報を確認しておきたい**

AI技術の開発に対する規制

ソフトローというあいまいな規制のあり方も議論中

非規制的で非拘束的

AIがもたらす結果の責任を**開発者**だけでなく、**学習を施した利用者**も含め、**全体を含めて議論すべき**との意見もあり、関係者の間で十分な合意は形成されていない

国際的な議論のためのAI開発ガイドライン案 2017.7.28

開発者に課される原則

- ①連携の原則、②透明性の原則、③制御可能性の原則、④安全の原則、⑤セキュリティの原則、⑥プライバシーの原則、⑦倫理の原則、⑧利用者支援の原則、⑨アカウントビリティの原則

AI利活用原則案 2018.7.17

利用者及びデータ提供者がAIの利活用之际して留意することが期待される事項

- ①適正利用の原則、②適正学習の原則、③連携の原則、④安全の原則、⑤セキュリティの原則、⑥プライバシーの原則、⑦尊厳・自立の原則、⑧公平性の原則、⑨透明性の原則、⑩アカウントビリティの原則

はじめに

土木施設の維持管理・更新に求められていること

AI技術を取り込むことで期待されること

AI技術の進展の見通しと課題

AI技術を取り込む上で求められていくこと

おわりに

業務内容の分析①

データの活用を意思決定の観点から二つに分け考える

AI技術はデータを活用し意思決定を支援する業務に有効
意思決定の観点から重視するポイントが異なる

データを人間が解釈し次の意思決定に活用

分析結果の解釈可能性と適切なタイミングでの可視化が重要

繰り返し業務の効率化、自動化

業務への直接的な貢献と必要十分な精度が重要

巡視（常時監視等も含む）・点検・診断・措置の分析が不可欠

個々の業務要素や業務全体に対する改善が大きく見込めるか

各要素技術としての要求品質を明確にできるか

誰が準備するのか

現場に即した特徴を適切に抽出できるデータセットは現場管理者側で取り揃えておくべきもの

他の現場管理者への横展開やAIサービスの供給者側の技術開発を促すためにデータセットの利用を許諾すべきかどうかについては、今後活用する場面に応じて課題として整理されていく必要がある

どう準備するかはノウハウも含め重要な技術的課題

推論の結果が揺らがない**本質的な特徴量**を獲得することが重要

頑健性を高めるため、学習用データセットに対して「ちょっと違った過去」などの**ノイズを加えたり**、**データを抜いたりする**「過酷な環境」などの工夫が有効とされている

統計的な性質を利用することによる原理的な限界

- ① 確率分布
- ② まれな事象
- ③ 統計的なバイアス

新たにデータを取得する方が効率的な場合も

損傷を抽出するための学習用データセットは、すでに蓄積されている生データを加工して生成するよりも、**新たに様々な損傷要因を内包した試験部材を作成し**、促進劣化させ、損傷の度合いを観察できる**データを取得する**方が効率的となる場合がありうる

首都高速道路(株)における取組の事例

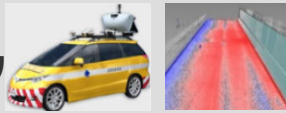


<事例>

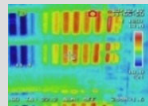
コンクリート表面のセンシングデータから、内部の鉄筋腐食等を推定するAIエンジン

センシングデータ (入力)

- 点群データによる変状検出・図面データ



- 近赤外線点検データ



- ひび割れ検出データ



損傷推定AIエンジン

損傷予測 (出力)

コンクリート内部の損傷
 ・鉄筋腐食
 ・中性化
 ・塩害 等



診断を支援

契約内容と公共調達のための手続きの検討①

AIの開発・利用に係る契約において懸念される事項

- 1 普通のソフトウェア開発と何が違うのか
- 2 従来型の契約方式のどこを変えたらよいのか
- 3 知財権等はどのように処理すれば良いのか
- 4 学習済みモデルの横展開はできるのか
- 5 学習済みモデルの性能等に関する責任は誰がどのように取るのか

関係当事者間の契約により権利関係等を定めるために

研究開発段階においては、成果に対する技術評価は不要とすることも可能、**特定の者**と契約内容を交渉・議論することも可能

実装段階においては、成果に対する技術評価はおそらく必要、**不特定の者**を対象とした標準的な契約内容を議論しておくことが必要

公共主体が調達するに際しては

AI技術の活用を含む契約をどのような種類の契約として組み立てるのか、また、どのように分割あるいは統合したものとするか

入札・契約手続きとして参加資格要件、何を評価の対象とし審査するのか

はじめに

土木施設の維持管理・更新に求められていること

AI技術を取り込むことで期待されること

AI技術の進展の見通しと課題

AI技術を取り込む上で求められていくこと

おわりに

データ活用効果が高いと期待できる業務から対象に

非常用機械設備等の異常検知・診断の支援

点検業務の効率化

診断時の判断における信頼性の向上

土木研究所がPRISM予算も活用して取り組む研究課題 (FY2018~)

排水機場ポンプ設備の異常検知・診断の支援

排水機場ポンプ設備の異常検知や診断の支援のため、データ収集モニタリングシステムによる状態監視データを活用した異常予知自己学習型 **AI/検知モデル**の開発を目指す

様々な計測技術によるデータの効率的な収集・解析

点検ロボットから得られる膨大な3次元データから、損傷・変状を自動抽出・分類するAIの基盤技術として、3次元モデルによる **AI/学習・評価環境**を開発する

RC床板の土砂化等に対する診断

外観では把握の難しいRC床版の土砂化に対して、**AI/技術**などによって外観の特徴や各種点検データなどと、劣化状態との相関を分析し、目視点検の信頼性向上、劣化状態の早期発見、適切な対策の提案を実現する

AI技術を取り込むために必要なこと

業務のどの部分にどの程度の精度で取り込むかの吟味

学習用データセットの準備

関係者に共通する考え方・基盤の整備

土木研究所として

官民連携、企業間連携が必要な「協調領域」の研究開発を**共同研究等**により**積極的に推進**し、

AI/技術の開発、土木施設の維持管理・更新分野への**早期実装化**に**貢献**

ご清聴ありがとうございました