

# 社会実装に向けたモニタリングシステム技術研究組合 の活動成果について

モニタリングシステム技術研究組合 理事長  
早稲田大学 名誉教授  
依田 照彦

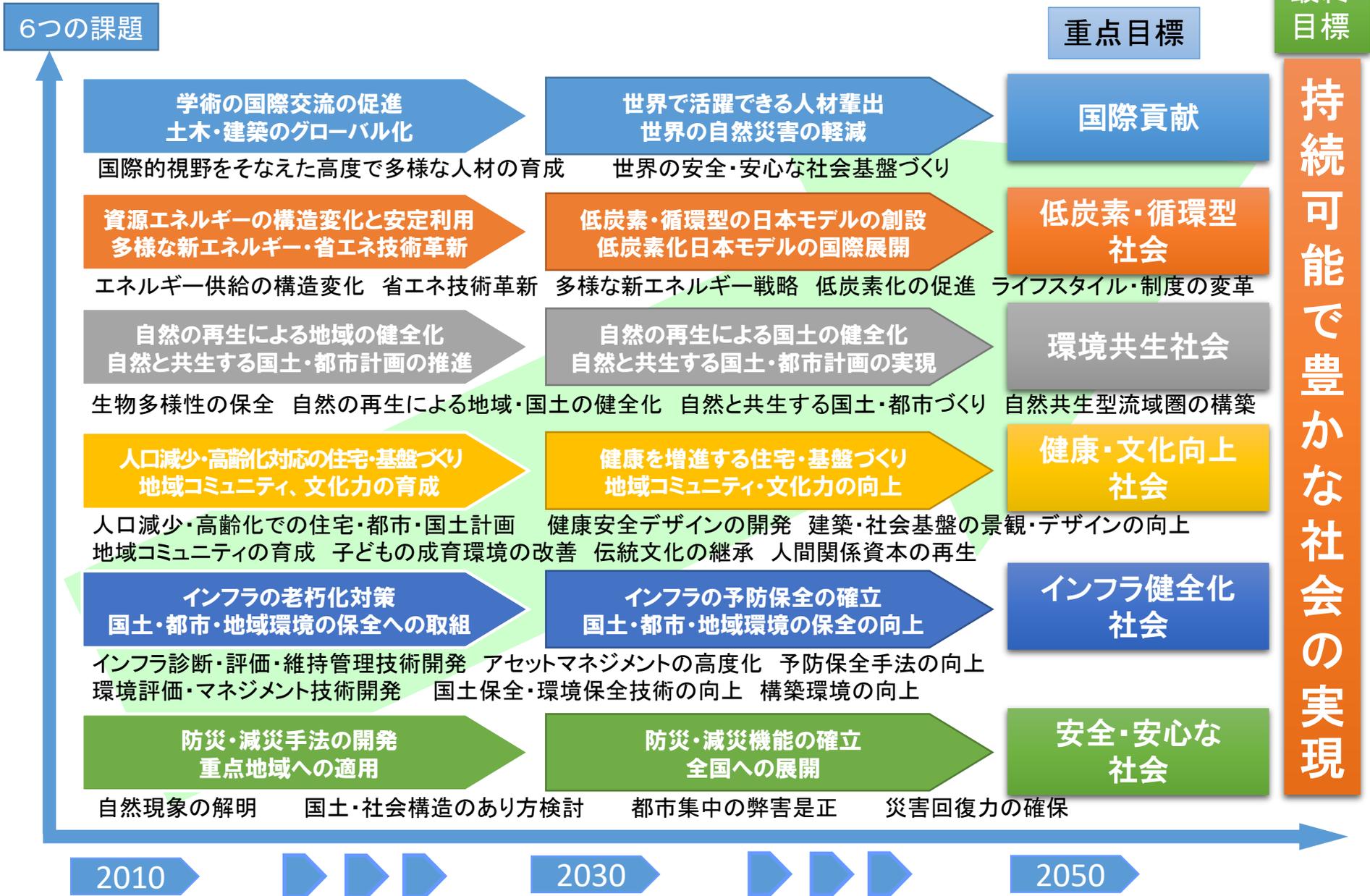
# 我が国の21世紀(データの世紀)の課題

- ・持続可能な社会の確立
- ・人口減少への対応
- ・環境と経済の両立

- ①国土環境の変化
- ②社会環境の変化
- ③少子高齢化
- ④災害脆弱化
- ⑤都市圏の過密化
- ⑥中山間地の過疎化
- ⑦社会基盤施設の老朽化
- ⑧人材の育成

# 土木工学・建築学分野のロードマップ

全体概要(出典:土木工学・建築学委員会 2014年8月)



## 第6期科学技術・イノベーション基本計画(概要)

出典:令和3年3月26日 閣議決定

我が国が目指す社会(Society 5.0): **国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会**

### ・**持続可能性の確保**

SDGsの達成を見据えた持続可能な地球環境の実現

現世代のニーズを満たし、将来の世代が豊かに生きていける社会の実現

### ・**強靱性の確保**

災害や感染症、サイバーテロ、サプライチェーン寸断等の脅威に対する持続可能で強靱な社会の構築及び総合的な安全保障の実現

2021年から2025年までの5年間で30兆円(官民を合わせた研究開発投資は、約120兆円)

→ DX(デジタルトランスフォーメーション)、脱炭素の研究開発を目指す

## 連携型インフラデータプラットフォームの構築等、 インフラ維持管理に関する対策

i-Constructionなどによる施工情報の3次元デジタルデータ化や、インフラ維持管理における点検データのデジタル化など、社会インフラに関する情報のデジタル化および3次元デジタルデータ化の取組を推進する（ICTの最大活用）とともに、関連省庁や地方自治体、民間などの各インフラ管理主体が保有するデータをAPIなどで連携する連携型インフラデータプラットフォームの構築に取り組む。

出典：内閣府

2021年9月から デジタル庁が始動（デジタル技術とデータ活用）

デジタル技術の進展を踏まえた規制の総点検として、ドローン、センサなどの新技術やデータを活用したインフラメンテナンスを推進するため、道路・港湾等に関して点検要領の見直し等を検討する。(2020年7月、閣議決定)

⇒インフラDX総合推進室(国土交通省2021年4月)

ICT(情報化)施工、BIM/CIMの推進、3Dプリンター、5G・AI・クラウド  
Society 5.0 ⇒ DX(デジタルトランスフォーメーション)

出典:国土交通省

## 国土交通省インフラDX総合推進室:

新型コロナウイルス感染症が収束した後は、新たな世界「ニューノーマル」へと移行し、非接触・リモート型、自動化・無人化が加速するとの認識。

- ・国土交通省は2021年4月、本省に「インフラDXルーム」を開設。
- ・データとデジタル技術を活用し、非接触・リモート型の働き方への転換と抜本的な生産性や安全性向上を図るためにインフラ分野のDX(デジタル・トランスフォーメーション)を推進。
- ・発注工事・業務の3次元データ(BIM/CIM)を一元管理・分析するためのDXデータセンターを整備。
- ・国総研・土研構内に無人化施工、自動施工などに関する産官学の技術開発の促進に向けた「建設DX実験フィールド」を開所。

(出典:国土交通省2021年4月)

# 「国土の長期展望」最終とりまとめ(骨子案) 2021年3月

## 課題認識

- (1) 中位推計を大幅に下回る出生数
- (2) 新型コロナウイルス感染症の拡大
- (3) 風水害を中心とした自然災害の激甚化・頻発化
- (4) デジタル革命の急速な進展
- (5) 2050年カーボンニュートラルの宣言(グリーンインフラとデジタルインフラ)

ローカル: デジタルとリアルが融合する地域生活圏の形成

グローバル: 国際競争力の向上に向けた産業基盤の構造転換と大都市のリノベーション

ネットワーク: 「交通ネットワーク」の充実、「情報通信ネットワーク」の強化、国土の適正管理、災害・地球環境問題対応、共生社会の実現

# 技術研究組合の設立からガイドラインの作成まで

## ①日本再興戦略をはじめとする政府方針における位置づけ

センサ、IT等を活用した社会インフラの状態の効率的な把握を可能とする  
新技術の開発・導入を進める。【2020年までに国内の重要インフラ・老朽化インフラの  
20%は、センサ等の活用による点検・補修を行う[「世界最先端IT国家創造」宣言]など】

## ②戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

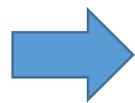
総合科学技術・イノベーション会議(内閣府)が、取り組むべき課題の一つに  
設定。(インフラ維持管理・更新・マネジメント技術)

## ③COCON(産業競争力懇談会)における長寿命化の取り組み

鹿島、NEC、富士通等: 合同検討による政策提言、関連機関への働きかけ

## ④国交省「モニタリング技術活用推進検討委員会」

国交省所管各分野を対象に、モニタリング技術の公募等により、現場実証  
を予定



インフラ管理者、センサ技術、通信・伝送技術、評価・予測技術を  
保有する技術者が総力を結集して解決する必要あり

# RAIMS(モニタリングシステム技術研究組合)設立の背景

SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)

「社会インフラのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発に係る公募」

➤ 提案名称: モニタリング技術の活用による維持管理業務の  
高度化・効率化

➤ 研究期間: 平成26年度～平成30年度

➤ 委託者: 国土交通省

## <研究内容>

- インフラ管理者による管理者ニーズを抽出・整理
- 管理水準やモニタリングに求められる性能の明確化
- 試験桁等の室内載荷試験の実施、現場実証の実施
- 維持管理レベルに応じたモニタリングシステムの総合的な適用性の評価・検証

出典: RAIMS

## ム) インフラの維持管理・更新・マネジメント技術 研究開発計画(案)

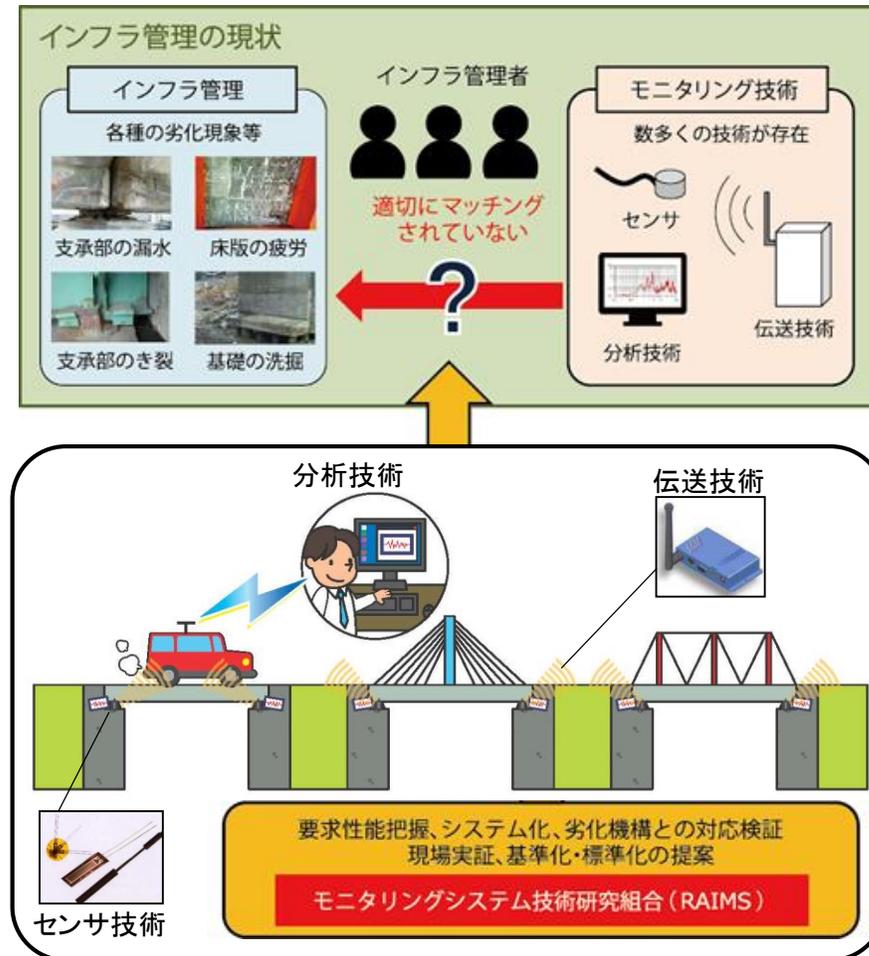
2014年4月 内閣府

- 1) 点検・**モニタリング**・診断技術の研究開発
- 2) 構造材料・劣化機構・補修・補強技術の研究開発
- 3) **情報・通信技術の研究開発 (ICT)**
- 4) ロボット技術の研究開発 (IRT)
- 5) アセットマネジメント技術の研究開発

出典: RAIMS

# モニタリングシステム技術研究組合の取り組み

1. 管理者ニーズの把握によるモニタリングシステムの要求性能の明確化の提案
2. 構造物の各劣化機構を踏まえたモニタリング技術の適用性検証
3. 計測技術、通信技術、データ分析、評価技術を組合せたモニタリングシステムの現場実証
4. 維持管理レベルに応じたモニタリングシステムの提案



# RAIMSの組織概要

組合名： **モニタリングシステム技術研究組合【略称RAIMS(ライムス)】**

組合員： (2014年10月～2019年3月 14団体)

(研究機関)	土木研究所
(高速道路会社)	NEXCO東日本・中日本・西日本
(建設会社)	鹿島建設 前田建設工業
(建設コンサルタント)	日本工営 国際航業
(電気・通信)	沖電気工業 日本電気 日立製作所 富士通
(設備・センサ)	共和電業 能美防災

(2019年4月～2021年4月 15団体)

(研究機関)	土木研究所
(高速道路会社)	高速道路総合技術研究所
(建設会社)	鹿島建設 前田建設工業、三井住友建設
(建設コンサルタント)	日本工営 福山コンサルタント
(電気・通信)	沖電気工業 日本電気 日立製作所 富士通
(設備・センサ)	共和電業 能美防災 オムロンソーシャルソリューションズ 長野計器

## モニタリングシステムの目標(案)

2025年までにモニタリングシステムの価値を現在(2020年)の倍にすることができれば、…………。

1) 2025年までに橋梁のライフサイクルコストを現在(2015年)の半分にする。

(出典:ASCE)

2) 施工、検査、維持管理・更新までの全ての建設生産プロセスでICT等を活用する

「i-Construction」を推進し、建設現場の生産性を、2025年度までに2割向上を目指す。(出典:国土交通省)

3) 価値の2倍は、コストでも、生産性でも、利益でも、いろいろなものに繋がる。

More is different.

## 現状認識

- インフラのモニタリング技術が実用化の段階に入った背景には、センサの低価格化と小型化、通信コストの低減などがある。
- その一方で、インフラの劣化現象分析や余寿命予測では高い技術レベルが要求されるため、開発・普及が進んでいない部分もある。
- 普及を阻む要因の一つとして、インフラには同じ構造のものがほとんどない点が挙げられる。
- モニタリングの計測量、管理値などを明確にする必要があり、長期的な視点に立って新しい技術を開発する必要がある。
- **維持管理の制約条件のもと、コストとリスクのバランスを考慮して、シミュレーター分析とデータ分析のコラボがモニタリング技術の実用化では欠かせない。**

## 維持管理とモニタリング技術(一歩先んじたモニタリング:データに語る)

- 予測があって、予防と対応を区別するモニタリング(政府の骨太方針)  
 予防保全型の維持管理への転換(経済財政運営と改革の基本方針2021)
- 想定内と想定外の対応を変える  
 (例) Fool proof と Fail safe が重要
- ハイテクとローテクの組合せが世界戦略になる(2段階モニタリングの実施)  
 ローテク: 人間主体のセンサー(点検士、診断士:資格)  
 ハイテク: 機械主体のセンサー(認証:資格)
- ビッグデータとスモールデータ(データサイエンティストの役割)
- Deep Learning と AI技術(可視化や技術者教育用にも)
- 既往のセンサで新しいモニタリングの可能性の模索

(例) センサの相互連携利用(秘密保持)

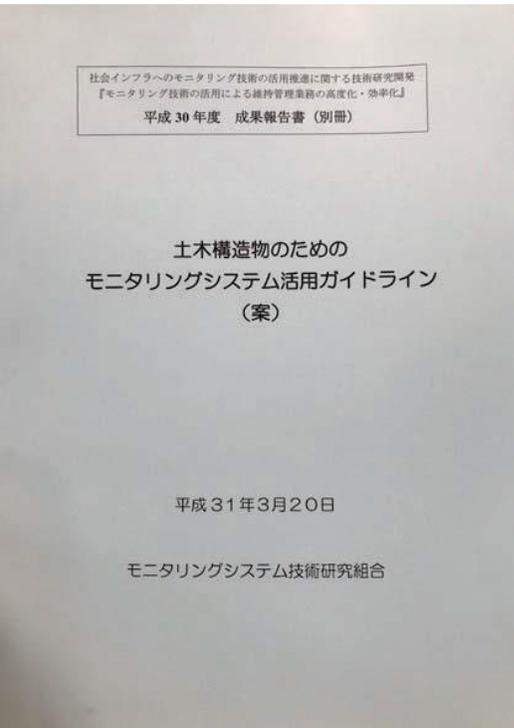
センサの位置を変えていく(が変わっていく)方法

# 土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン(案)

## 土木構造物のための モニタリングシステム活用ガイドライン (案)

平成31年3月

モニタリングシステム技術研究組合



本ガイドラインは、モニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)が実施した研究であり、内閣府の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究の成果を含みます。

出典:RAIMS

# 土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン(案)目次

- 第1編 総則
- 第2編 RC床版のモニタリング
- 第3編 コンクリート桁のモニタリング
- 第4編 鋼桁のモニタリング
- 第5編 塩害環境下のコンクリート構造物のモニタリング
- 第6編 橋脚および基礎のモニタリング
- 第7編 のり面・斜面の安定性評価のモニタリング
- 第8編 モニタリングデータの伝送
- 第9編 データの保存活用

出典:RAIMS

# モニタリング技術の定義(効率化・高度化)

## 定義:

モニタリングシステムとは、**構造物等にセンサを設置**して、**様々な測定**を行うことにより、**構造物等の状態を定量的かつ継続的に把握**すること。

## 効率化・高度化とは

**構造物等**: 構造物等の空間的・時間的広がりはどこまでか?

**センサ設置**: どのようなセンサをどこに設置すればよいか?

**測定**: 何をどのように測ればよいか?

**構造物の状態**: 何をみてどのように判断すればよいか?

**定量的・継続的に把握**: データの分析と保存管理はどうするか?

**Newtonに学ぶ: 少ないセンサで多くの現象を捉えることが大切**  
(一つの式で多くの現象を説明する; 可能性の追求)

# モニタリングシステムの重要性

- ・立案・実行はインフラの管理者である。適切なシステムになっているかどうかを判断するのは誰か。⇒インフラマネジメント
- ・点検データが飛躍的に増えているが、寿命予測等への活用が少ないのが現状。⇒データマイニング
- ・モニタリング技術の運用確認には管理者判断の検証が必要。⇒プロセスマイニング
- ・適切なライフサイクルコスト計算とリスク評価にもとづく維持管理の意思決定の実現が望まれる。⇒エビデンスに基づくリスクアセスメント
- ・コストとリスクのバランスをどのように考えるか？

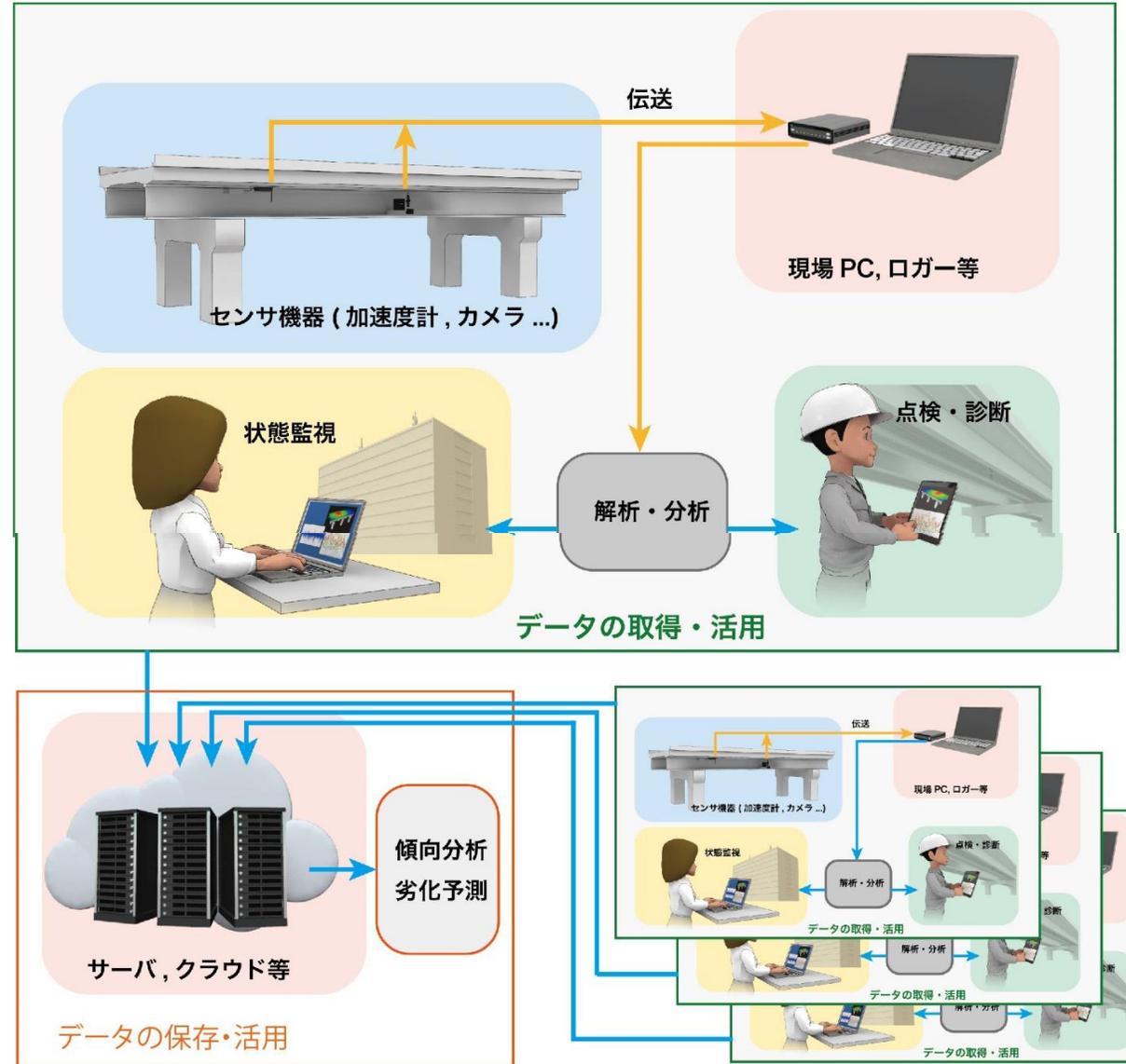
# モニタリングシステムのイメージ

インフラモニタリングシステムには、データを収集または伝送する技術、ならびにそのデータを保存・蓄積するとともに必要に応じて活用する技術も含まれる。

## 定期点検の目的:

- ① 次回までの間におけるコンクリート片落下等による第三者被害の回避、
- ② 次回までの間における落橋や長期の機能不全の回避、
- ③ 長寿命化のための時宜を得た対応

出典: 国土交通省、RAIMS



## 如何にしてモニタリングシステムの価値を見出すか

**モニタリングシステム活用ガイドライン(使いたくなるガイドラインを目指す)**

→これからが活用の本番(土木研究所・NEXCO三社・土木学会など)

**データ分析やシミュレーター分析のベンチマークの存在**

⇒これからは、コストを考慮して事前にシミュレーター分析ができる

つまり、計測開始前に現状の予測が可能となる(コストの最適化)。

**データの取得・分析・保存＝宝の山(いかにして価値を見出すか: 価値協創)**

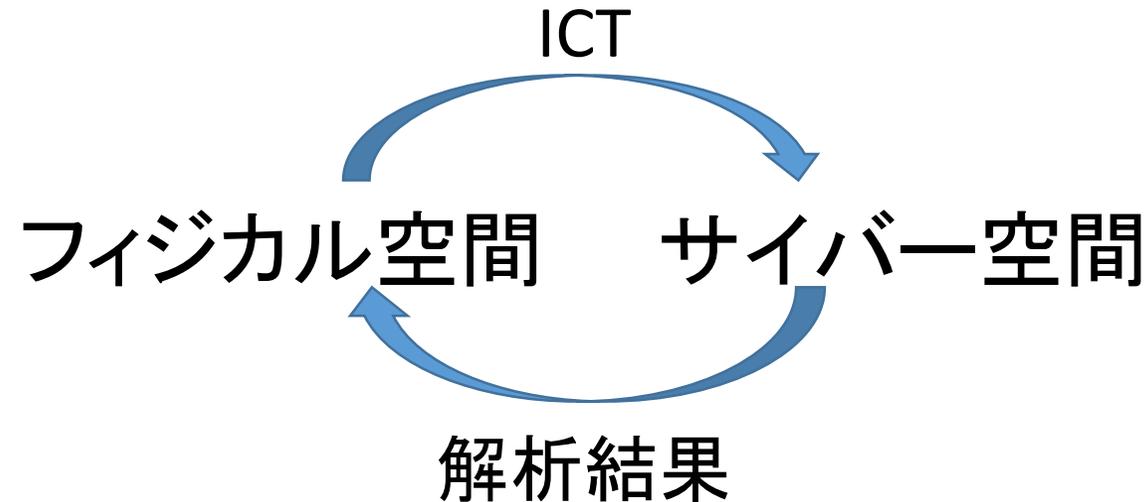
**データ取得: 画像データ、センサデータ、テキストデータ、構造物データなど**

**データ分析: ビッグデータ分析、AI分析など(技術倫理の問題: 守秘義務)**

**データ保存・管理: 一元化管理、データ連携など**

⇒宝の持ち腐れにならないように

# 超スマート社会の道路構造物の維持管理



Society 5.0(日本) インダストリー4.0(ドイツ)

社会インフラの老朽化を踏まえ、**ICTを活用した社会インフラ**の効果的・効率的な維持管理を実現するため、センサ等で計測したひずみ、振動等のデータを、高信頼かつ超低消費電力で収集・伝送する通信技術等を確立

出典：内閣府

## 社会実装が動き出すとき：検証と妥当性確認が重要

- ライフサイクルコストは大切であるが、必ずしもインセンティブにはならない。
- 第三者被害に対するリスクがインセンティブになる。橋梁で第三者被害に対する点検周期が2年であることが、それを物語っている。
- センサによってデータを集めるだけでは、リスクは分からない。
- 傾向分析、劣化の予測、余寿命の予測が不可欠である(確率論の利用も)。

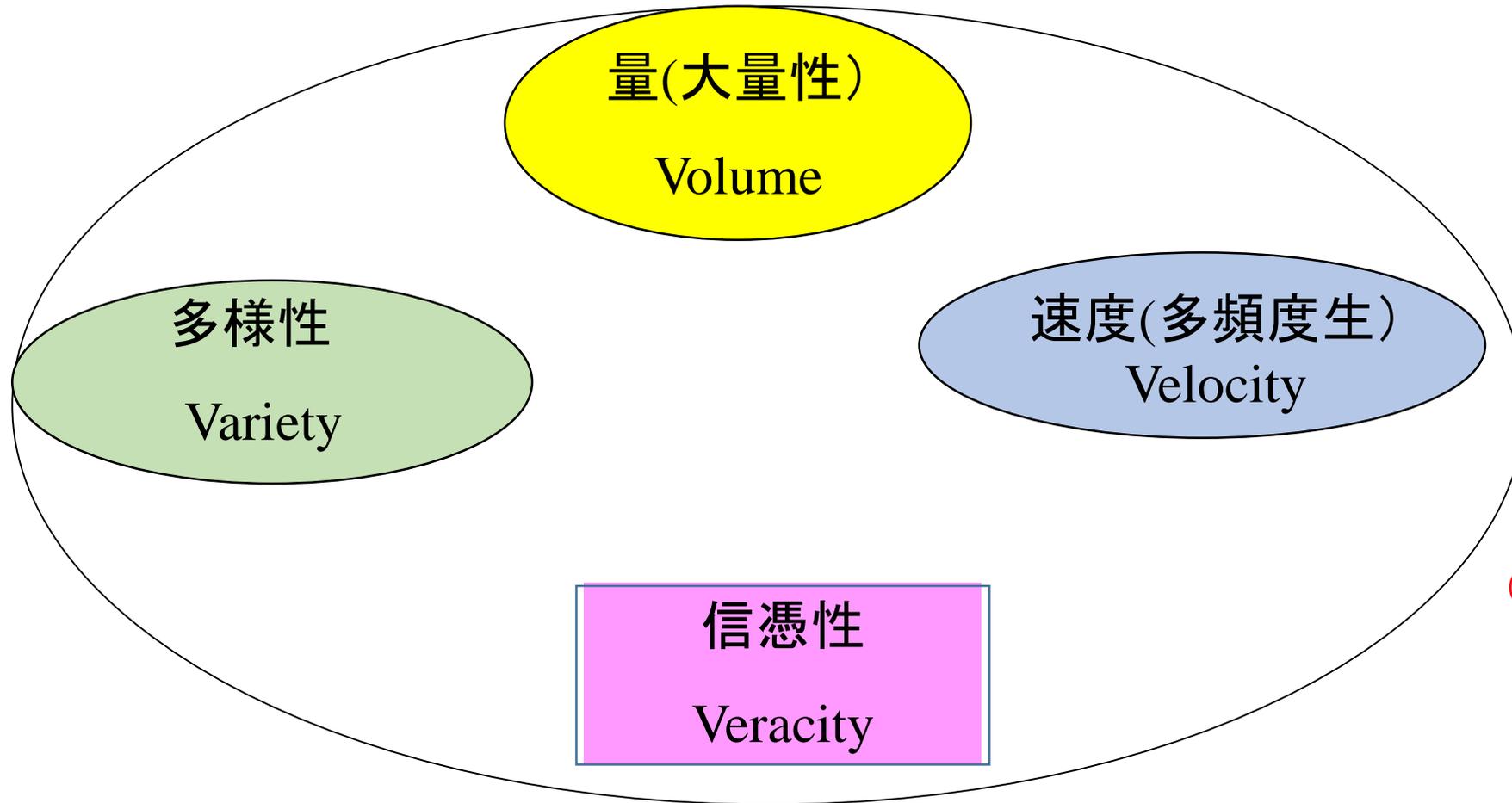
### ガイドラインの特徴：

検討すべき現象に応じて、異なる適切な計測技術が明確に示されている。

イノベーションにより広い選択枝の可能性が示唆されている。

地域がインフラを選ぶ、自然が技術を選ぶ、センサが技術(技術がセンサ)を選ぶ。

# センサデータ:ビッグデータの定義(価値の宝庫)



(出典:IBM)

## データに語らせる

出典:RAIMS

# モニタリングデータの多様性は宝の山 分析できなければ単なるデータ、分析できれば価値ある資源

- ①構造設計での構造解析・流体解析：運動方程式
- ②塩害など：拡散方程式
- ③腐食やアルカリ骨材反応：化学反応式
- ④.....
- ⑤模型と実物との間の整合性：相似則

モニタリング技術の信頼性を検証するには、

詳細なデータ⇒実験室で**検証実験**  
現場のデータ⇒実現象の**妥当性確認**

## RAIMSの活動

比較検討(多種類のセンサで)

災害・事故に対しては、あらゆる可能性を  
考えるしかない  
(人もインフラも何時までも若くはない)

巨大地震、大津波、大洪水、大火災などの大災害に備えるには

- ・リダンダンシー(余裕性、代替性、多重性、豊かさ)
- ・レジリエンス(強靭性、快復性、しなやかさ)
- ・フェイルセーフ(損傷許容性、信頼性、しぶとさ)
- ・セーブライフ(人命救助性、死なない・死なせない)

超スマート社会(Society 5.0)の必要性

## センサ利用の価値評価

- ・予算が十分にあれば、多くのセンサをいたるところにつければよい。
- ・予算が十分でないことを前提にすれば、センサがもたらす情報の価値が重要になる。
- ・センサ利用の価値を評価する手法が必要。
- ・部材の劣化曲線、維持管理の費用、センサの不具合にかかる費用、センサの精度、センサからのデータ送信頻度、センサ情報を活かす技術がポイント。

人間は優秀なセンサ ⇒ 人間の密度が高い  
(近接目視が基本) 同期(情報共有)ができる  
情報伝達ができる

ASCEの文献より、ジョージア大学

注) ミクロ破壊、メゾ破壊、マクロ破壊でセンサが変わる

# モニタリングと検証は違う(シミュレーションでコスト減)

**モニタリング**: 状態や経過を観察することで、作業に焦点が当てられている

**検証**: 目的が達成されているかを確認する

- シミュレーションの**検証**ができるようになった
- シミュレーションの**妥当性確認**ができた



計測データの比較・分析



少ない計測データでも多くのことが分かる  
計測データから価値を創出する(二段階センサ)  
セカンドオピニオンが得られる

## 提言：オープンサイエンスの深化と推進に向けて(日本学術会議)

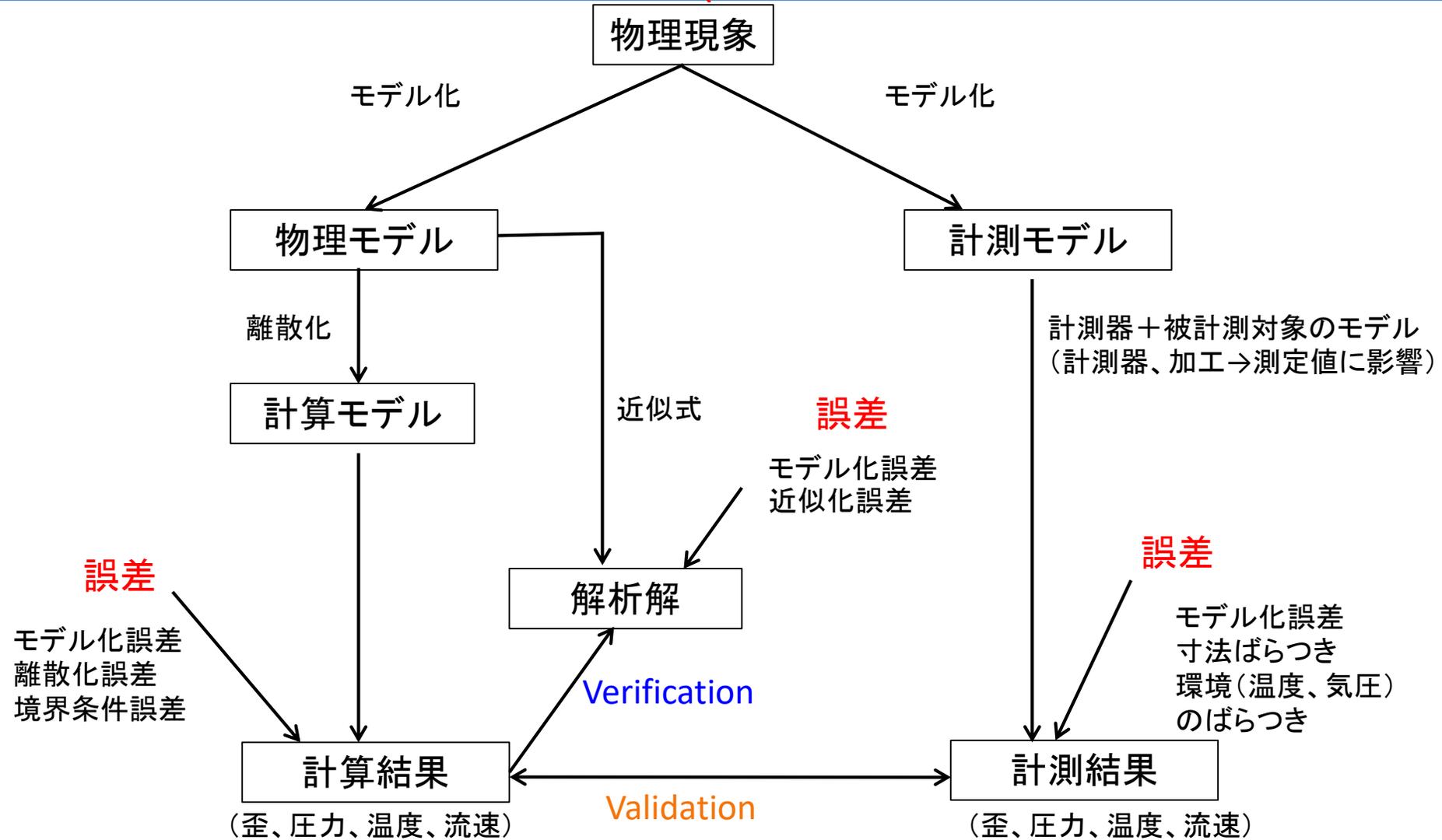
- (1) データが中心的役割を果たす時代のルール作りの必要性(倫理)
- (2) データプラットフォームの構築・普及の必要性
- (3) 第1次試料・資料の永久保存の必要性

令和2年(2020年)5月28日

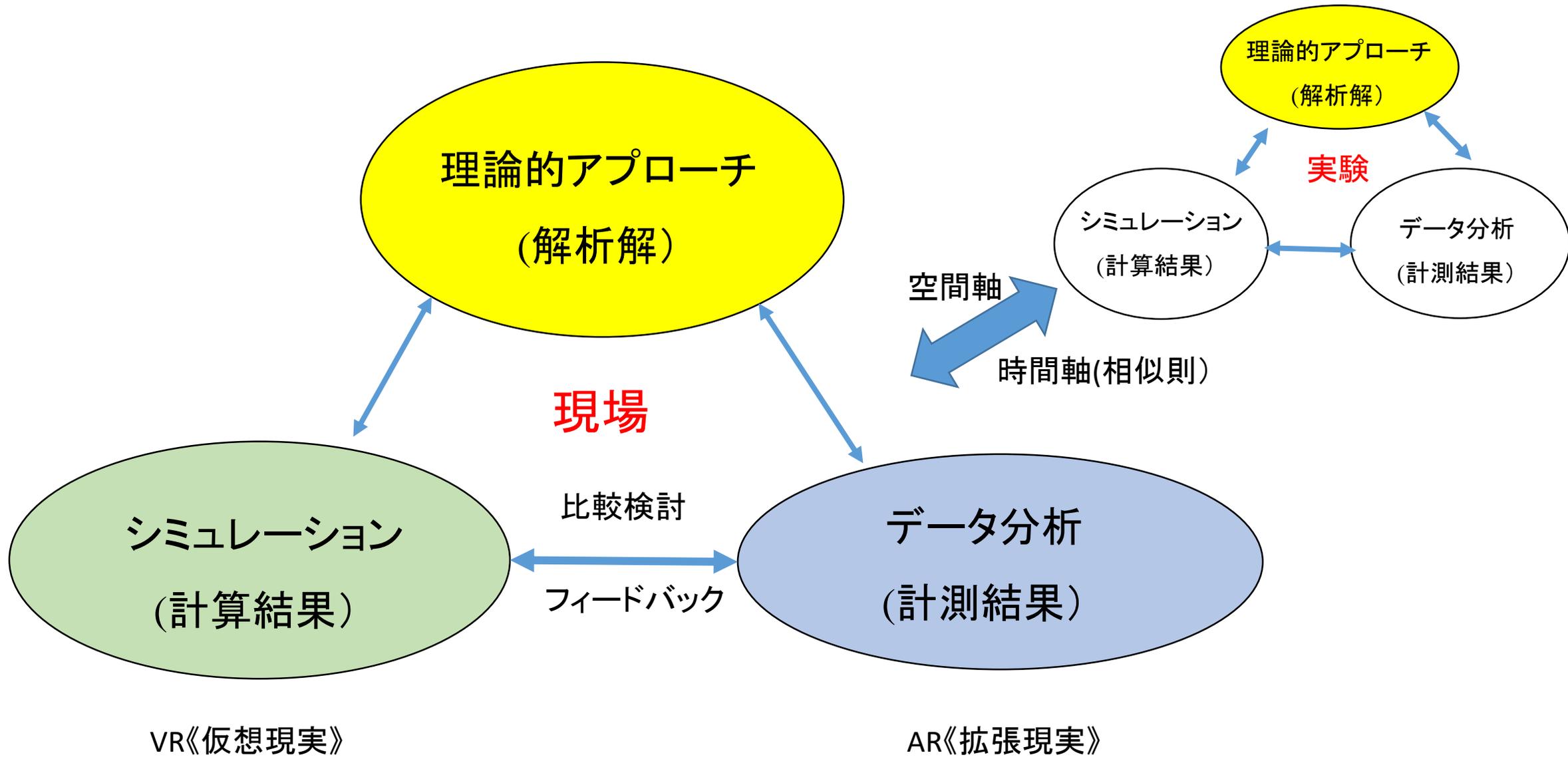
出典：日本学術会議

オープンサイエンスの深化と推進に関する検討委員会

# 数理モデルと計測モデル(検証と妥当性確認の違い)

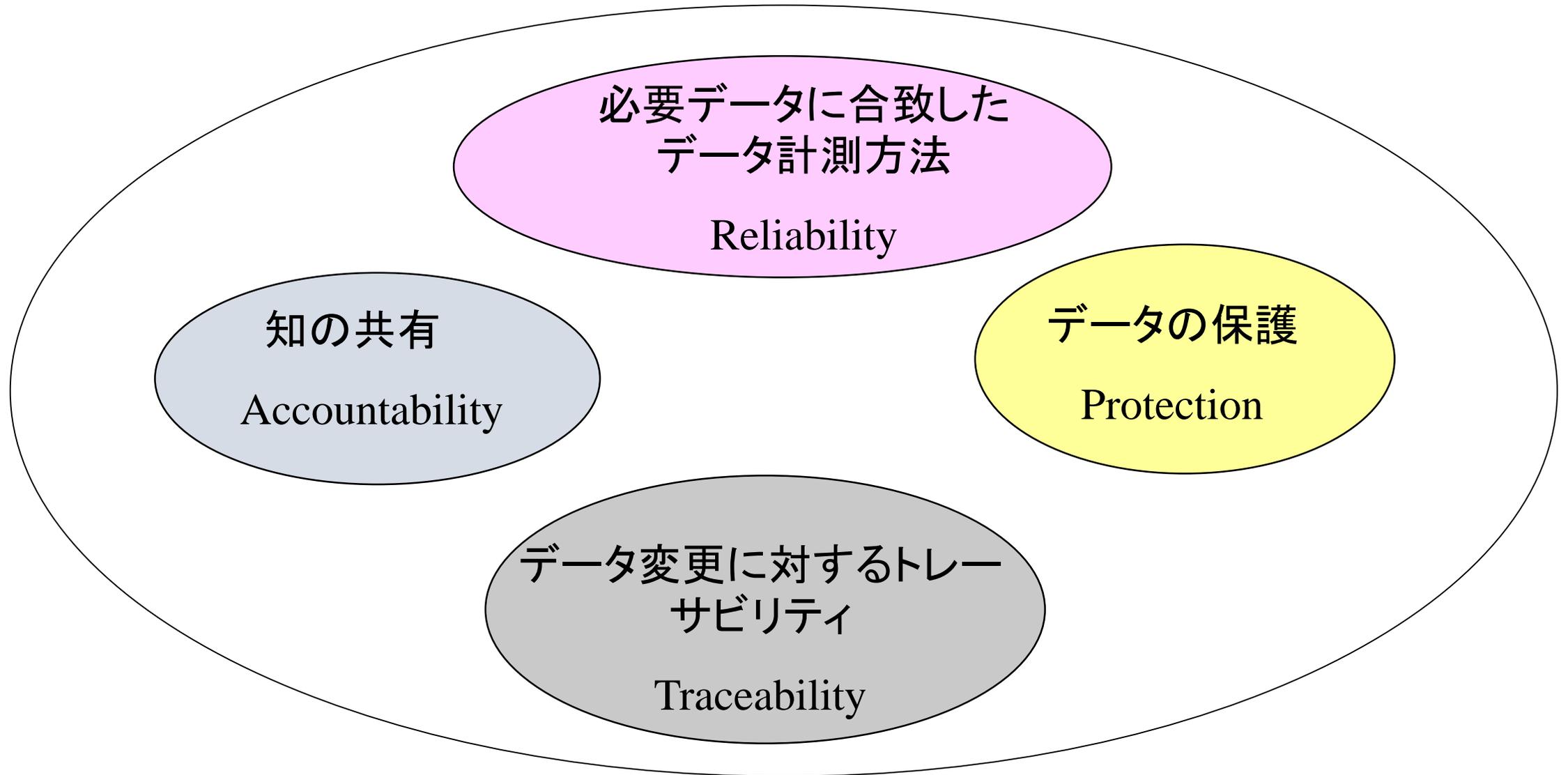


Validation(妥当性確認) and Verification(検証) (出典: ASME)

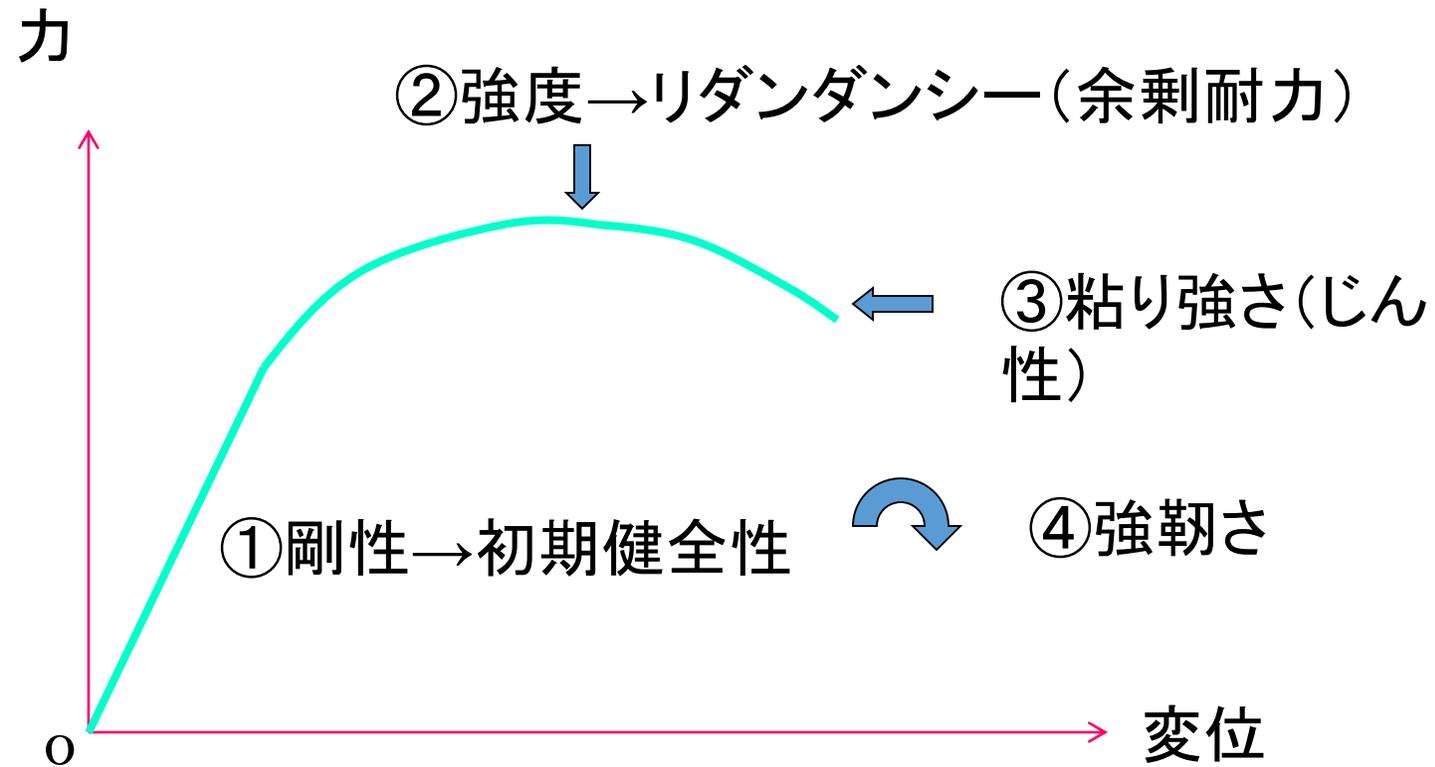


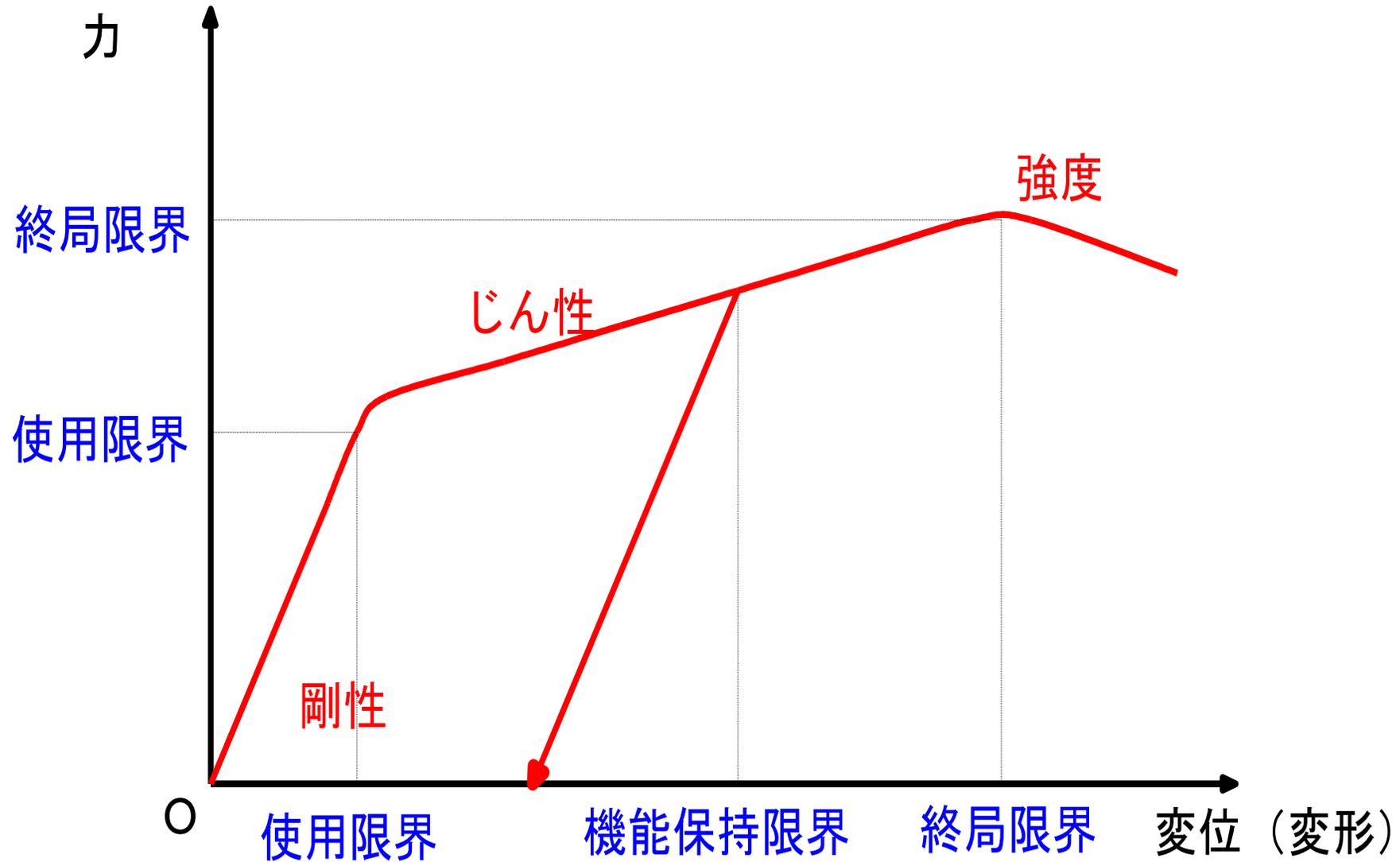
**データ駆動型維持管理の可能性**

# データ駆動型



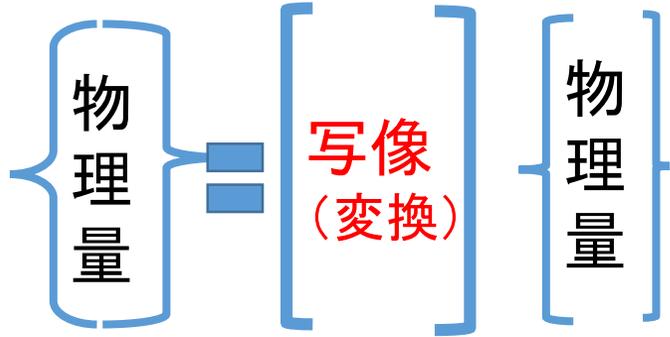
# 構造物の基本的性能



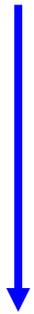


一般的な力—変位関係

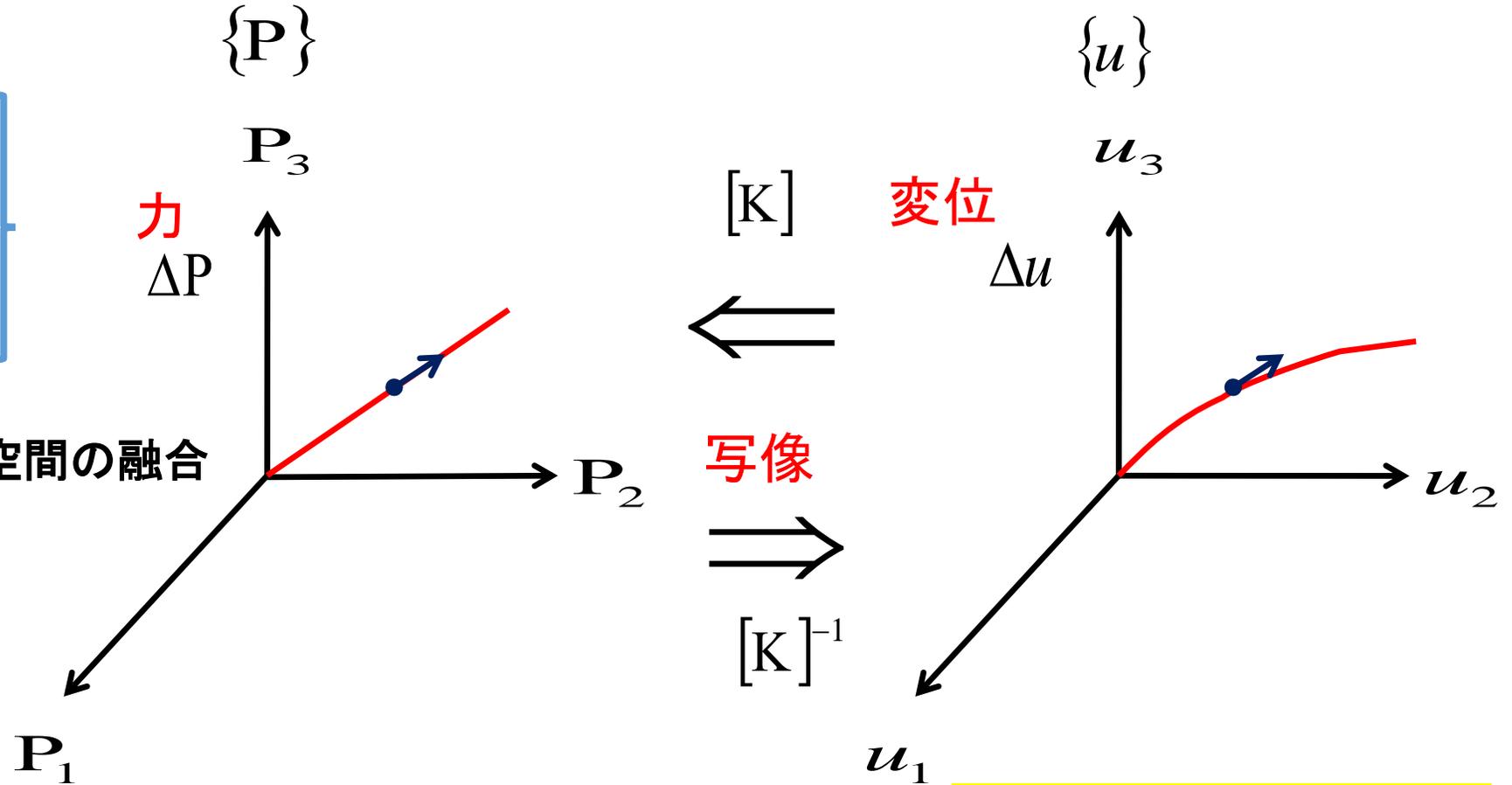
# 数理モデルのシミュレーション→ディープラーニング(AIモデル)



cf. サイバー空間とフィジカル空間の融合



特徴がある: 人間と同じ  
(データにも表情がある)

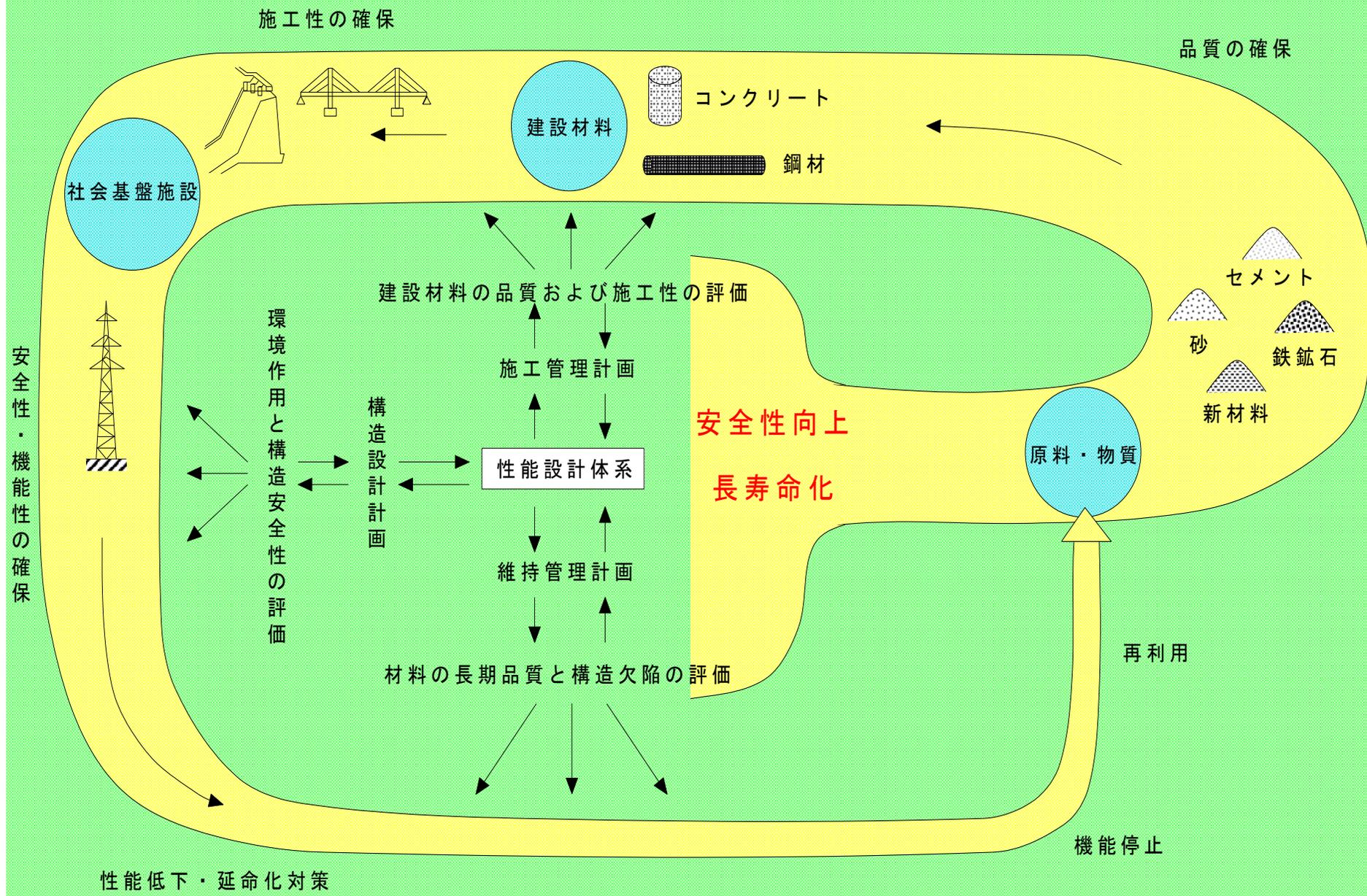


力-変位関係式:  $\{P\} = [K]\{u\}$  (非線形関係が普通)

増分型:  $\{\Delta P\} = [K_T]\{\Delta u\}$  (線形関係)

# 数理モデルの妥当性の判断(モニタリング支援技術:構造計算の例)

- 1) 数理モデル化を行う際には、常に実際に生じている物理現象に立ち返らなければならない。
- 2) 実験は適切に行われれば、実験供試体については真実を語るのに対し、理論や数理モデルではある種仮定に基づいているので、真実とは限らない。
- 3) 例えば、構造解析の数理モデルで得られた結果が完全に正しいのは、**力の一致、変形の一致、ひずみの一致**などが得られた場合のみである。
- 4) 誤差が少ないモデルがよいとは限らない。
- 5) あらゆるモデルには、適用範囲があり、数理モデルの成り立ちをよく理解しておく必要がある。

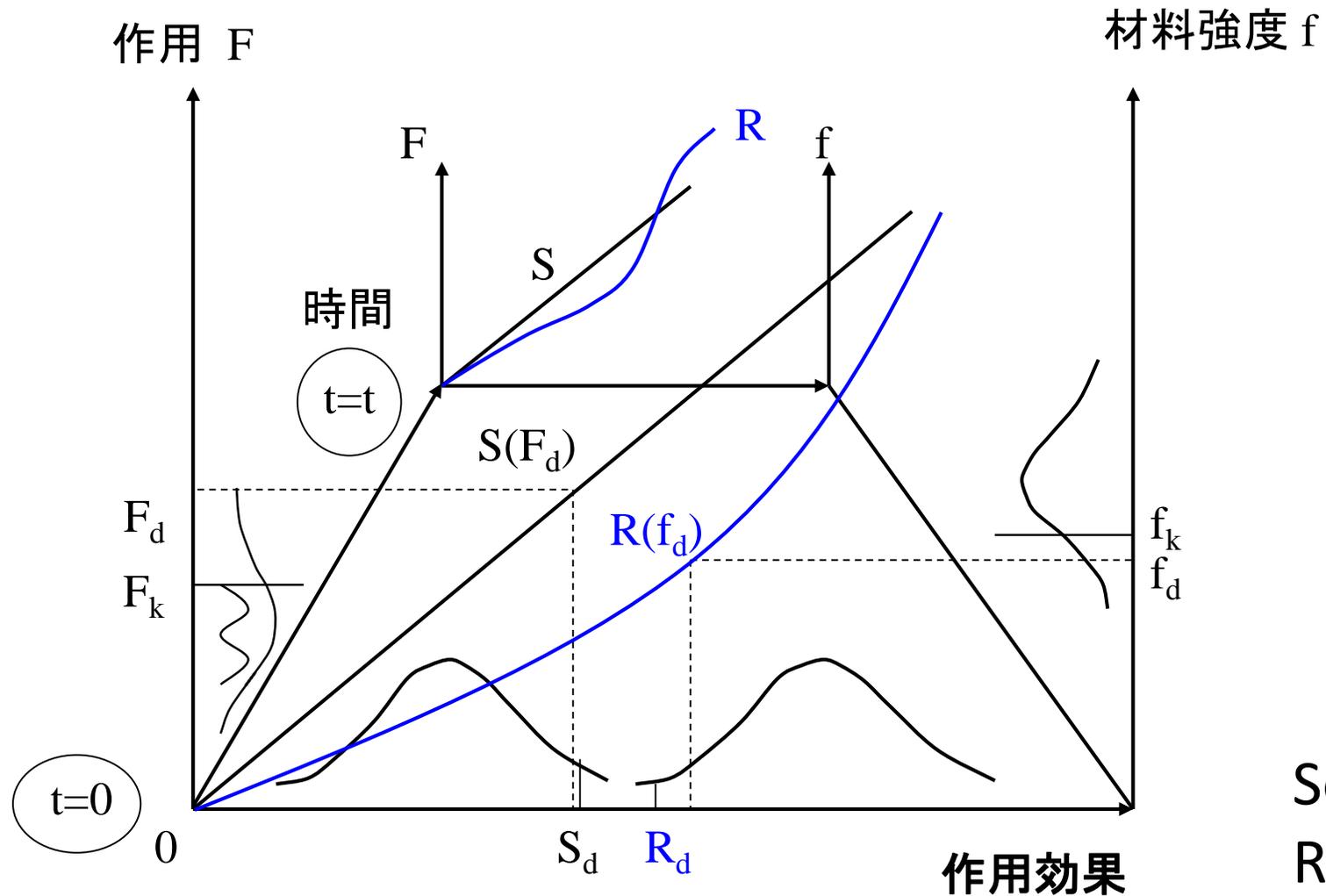


ライフスパンシミュレーションの構築  
 (性能評価システムと設計計画システムの統合システムの開発)

# 性能照査の柔軟性

照査レベル	照査式	構造解析法
作用レベル (荷重レベル) 【構造物レベル】	$\gamma_d P_d \leq P_u$ (システムとしての安全係数: $\gamma_d$ )	非線形骨組解析 非線形有限要素解析
断面力レベル 【部材レベル】	<div style="border: 1px solid red; background-color: yellow; padding: 5px; display: inline-block;"> <math display="block">\gamma_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1</math> </div> (部分係数 $\gamma_i$ : 限界状態設計)	線形骨組解析(格子解析)
応力レベル 【構造細目レベル】	$\sigma_{\max} \leq \sigma_u / \gamma_s$ (強度低減係数 $\gamma_s$ )	線形有限要素解析

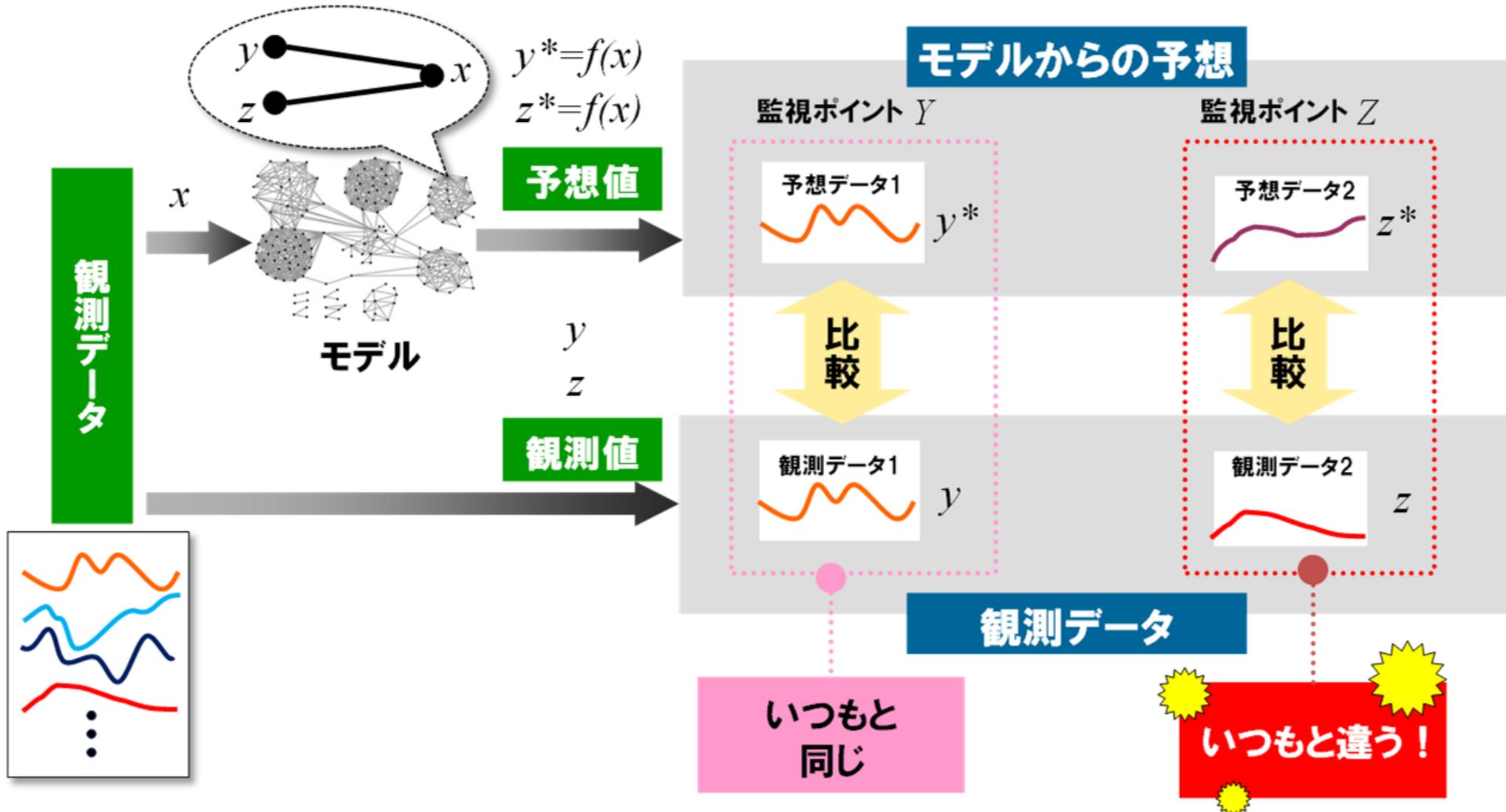
Sd: 設計応答値  
Rd: 設計限界値



$S_d$ : 設計応答値  
 $R_d$ : 設計限界値

耐荷性能・耐久性能の劣化

ガイドラインでも数理モデルを利用(予想値の大切さ:コストに繋がる)  
インバリエントモデルによる異常検知



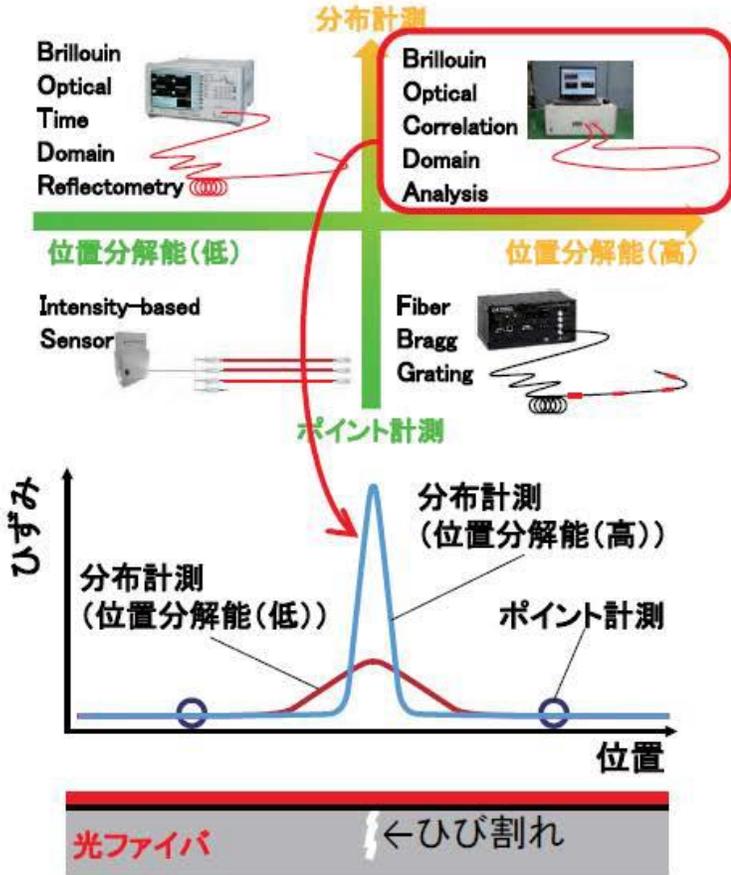
出典:RAIMS

## データは宝の山(ガイドラインからの一例)

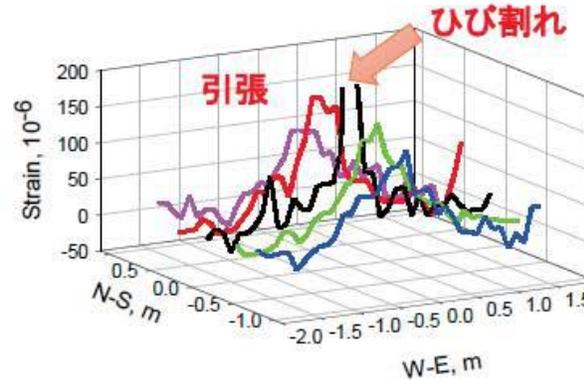
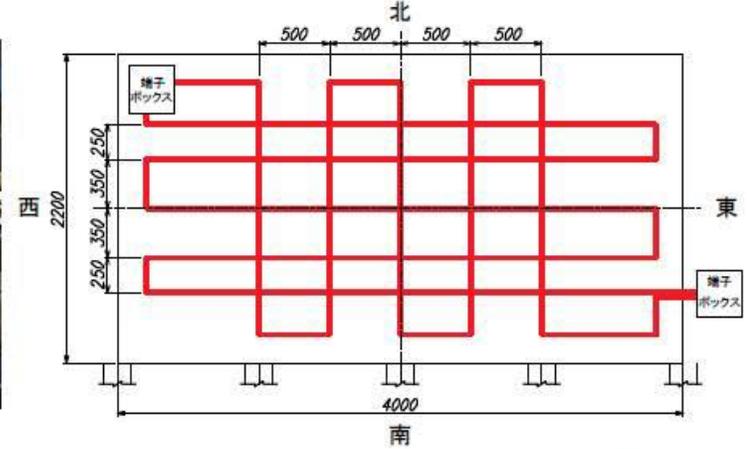
項目	空間軸	時間軸	
変位	$u, v, w$	$u, v, w$	変位
傾き (伸びひずみ)	$dv/dx, dw/dx, (du/dx)$	$dv/dt, dw/dt, du/dt$	速度
曲率 (曲げひずみ)	$d^2v/dx^2, d^2w/dx^2$	$d^2v/dt^2, d^2w/dt^2, d^2u/dt^2$	加速度
曲率の変化	$d^3v/dx^3, d^3w/dx^3$	$d^3u/dt^3$	エネルギー非保存
今後	デジタルトランスフォーメーション ディープラーニング	⇒空間軸と時間軸のインテグレーター ⇒シミュレーター	

# 例1: PC床版のひび割れ⇒引張と伸びひずみ(応用範囲を広げる)

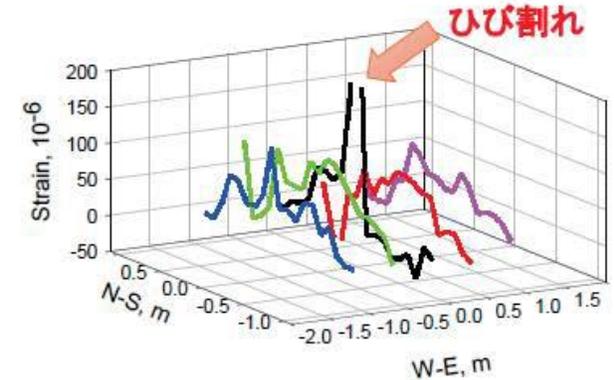
分布計測が可能で、位置分解能が高い光ファイバセンサを適用することにより、ひび割れ発生を検知・発生位置の特定・進展の有無確認を行うことができます。プレキャストPC床版の継目部など特定箇所のひび割れモニタリングにも適用できます。



光ファイバセンサの種類とひび割れ検知のイメージ



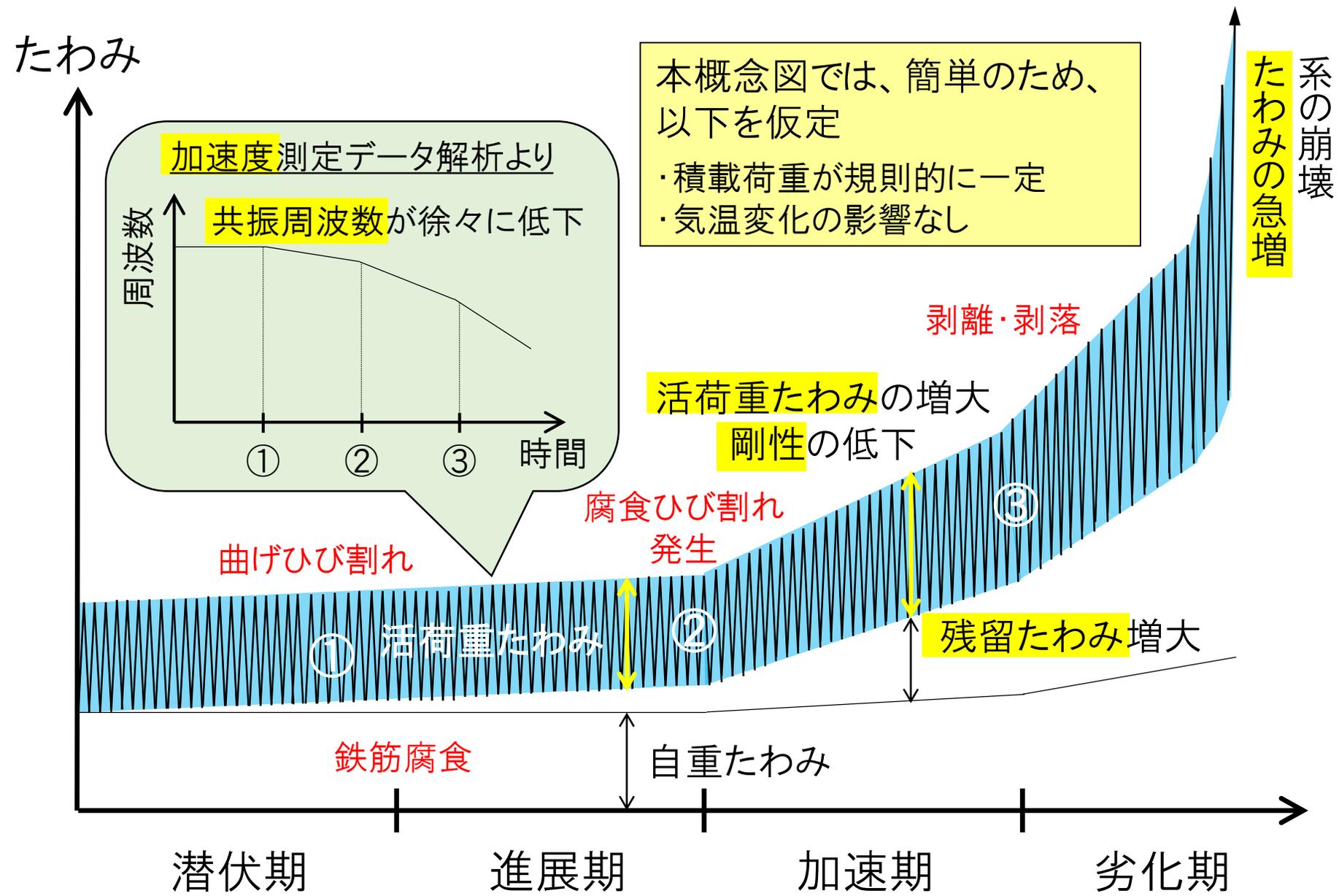
南北方向のひび割れ分布



東西方向のひび割れ分布

輪荷重走行試験によるひび割れ検知の事例

# 例2: RC桁のたわみ・振動特性の経年変化相関⇒たわみ、共振周波数

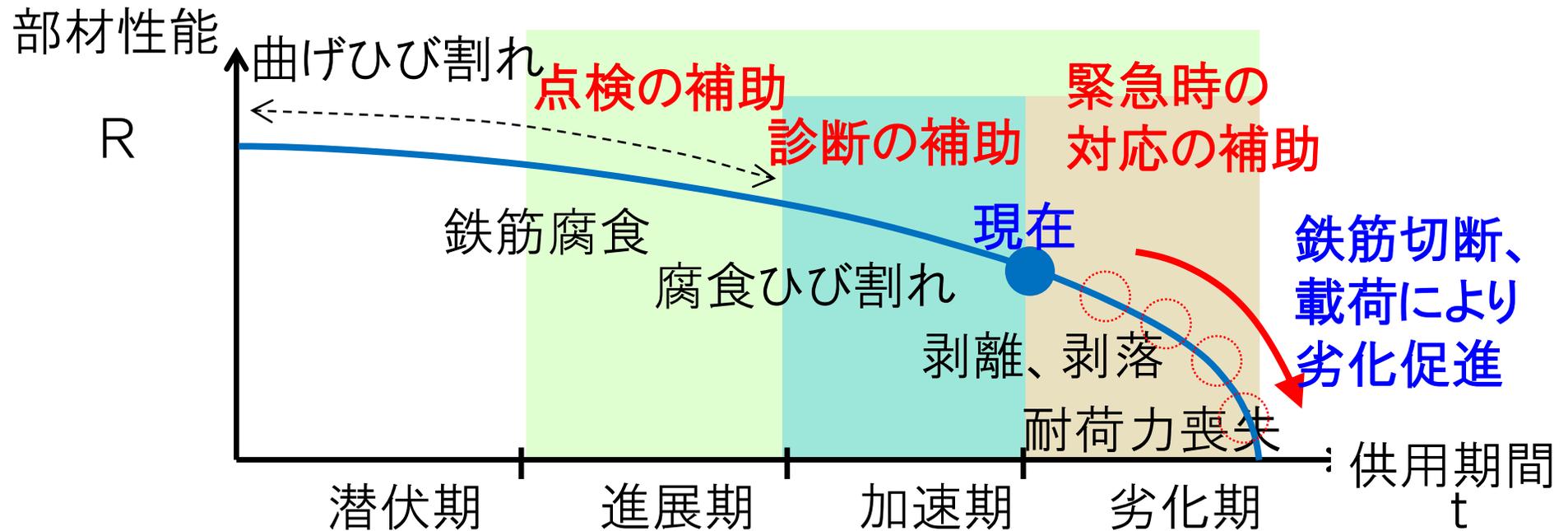


出典: RAIMS

## 例2: RC実験桁の劣化促進実験

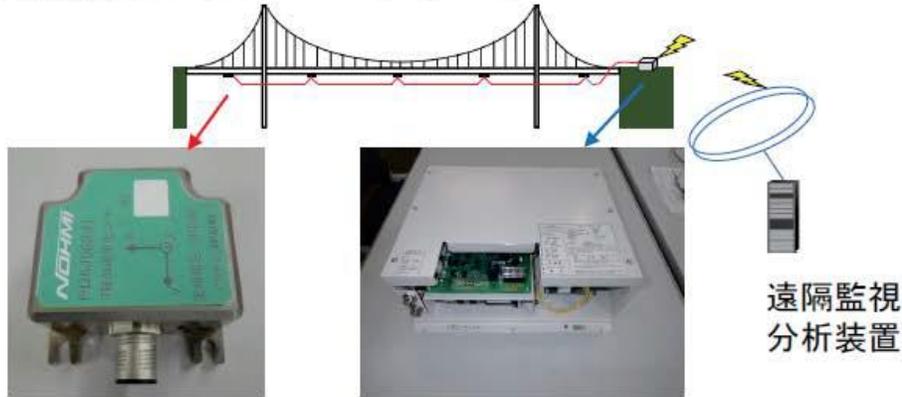
車両走行実験、劣化促進実験結果により

- ・ 「たわみ・振動」の計測値と**構造物の劣化状態との関連付け**
- ・ 「**診断の補助**」と「**緊急時の対応の補助**」の**モニタリング手法**



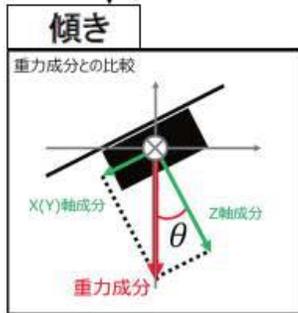
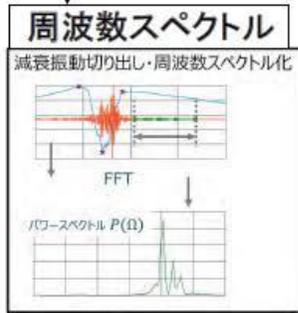
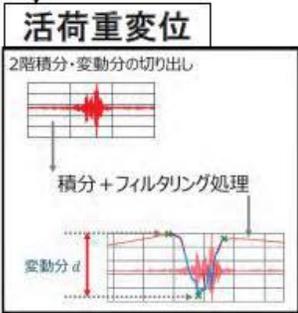
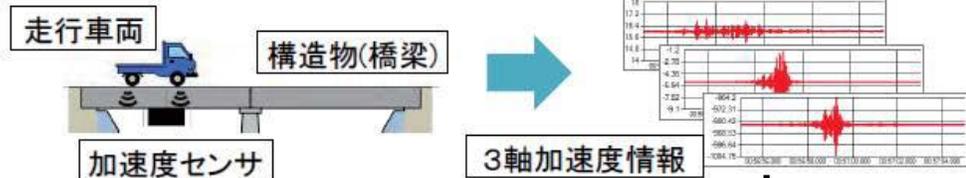
# 加速度⇒変位、周波数スペクトル、傾き

- ・高精度低周波加速度センサによる異常解析
- ・遠隔地からのモニタリング



加速度センサ

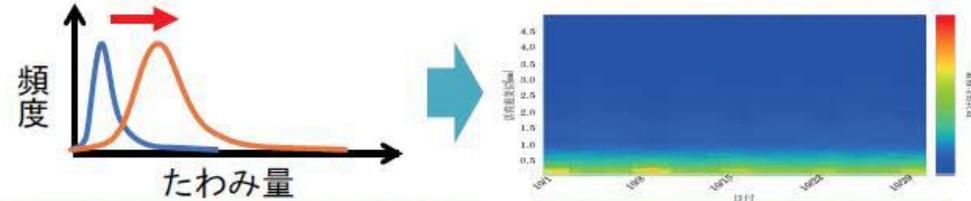
中継処理装置



加速度情報から得られる3つの異なる物理量

## たわみ(活荷重変位)

- ・橋梁のたわみ変化を分析
- ・トレンド変化を分析し、損傷の進行監視

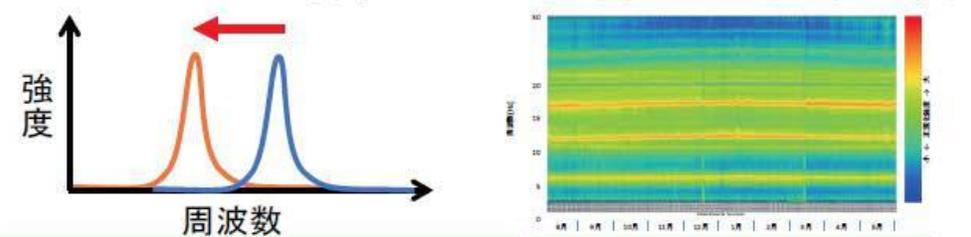


損傷によるたわみ分布の変化を検出

たわみ分布の経時モニタリング

## 周波数スペクトル

- ・橋梁の振動スペクトルを分析
- ・スペクトルの各種トレンド分析による異常監視

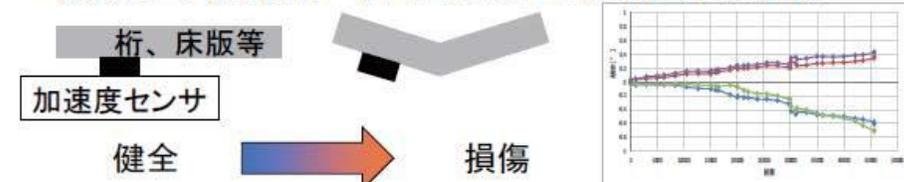


損傷による振動スペクトルの変化を検出

スペクトルの経時モニタリング

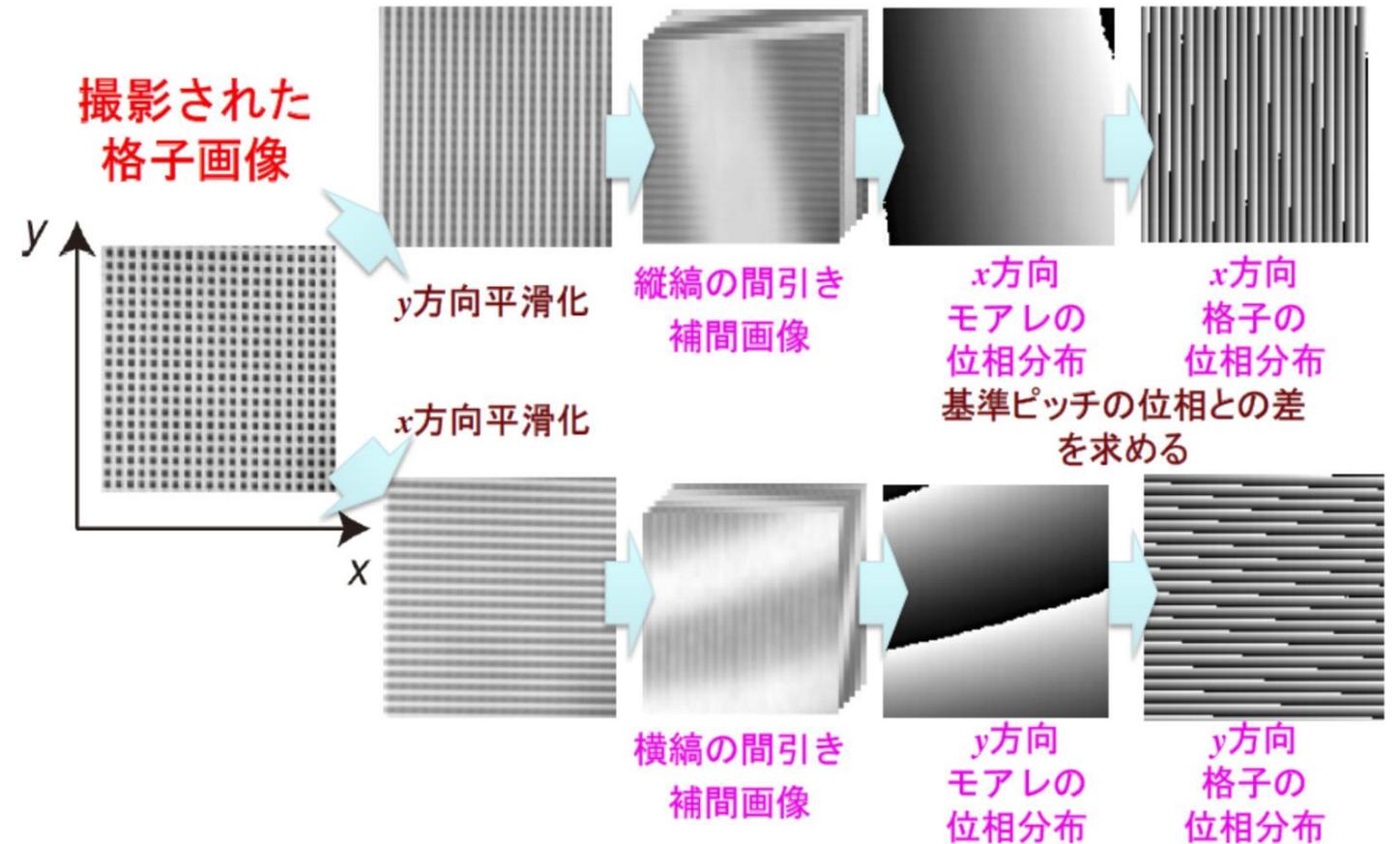
## 傾き

- ・橋梁の損傷に伴う傾きの変化を分析



# 例3: サンプルングモアレ法⇒変位

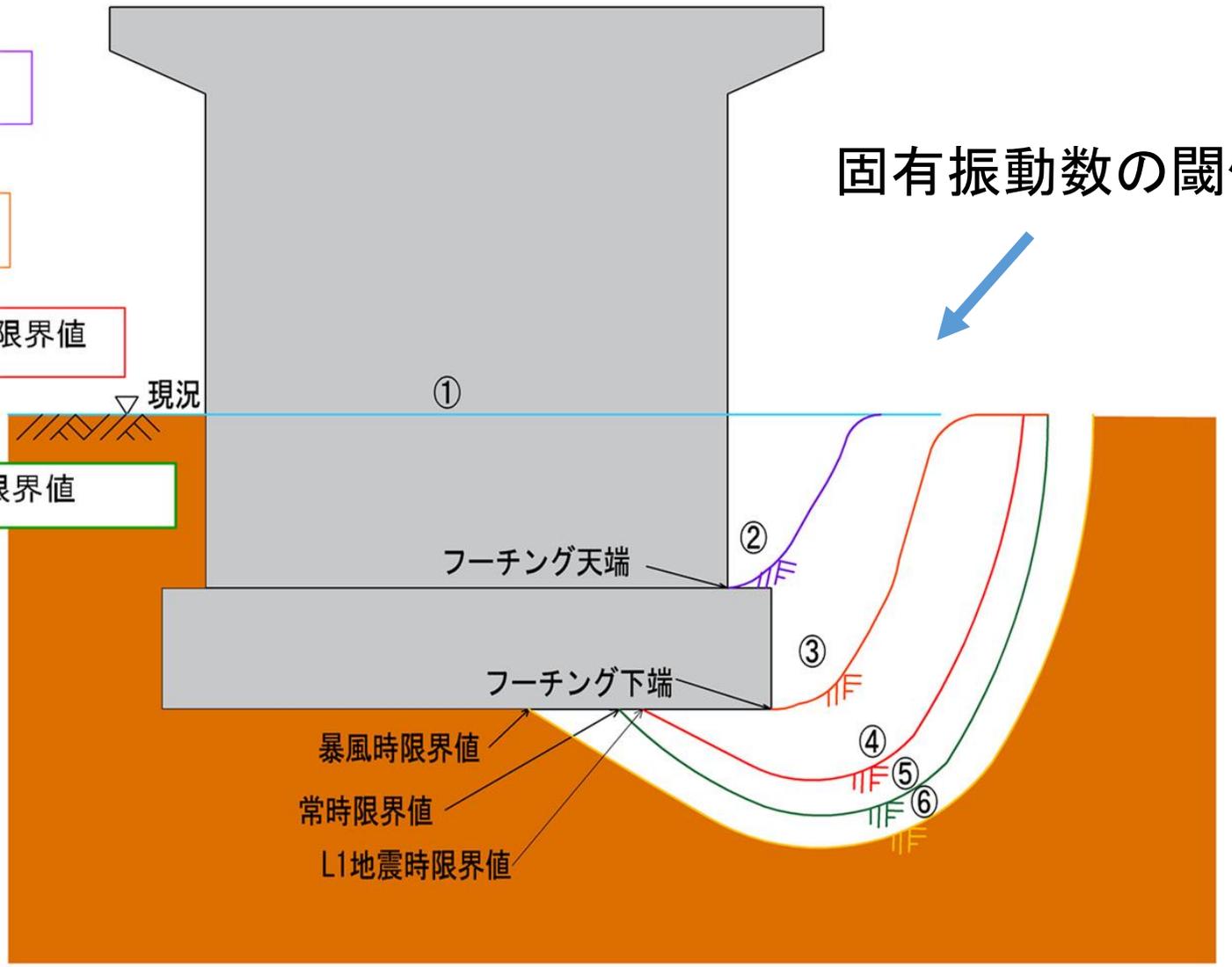
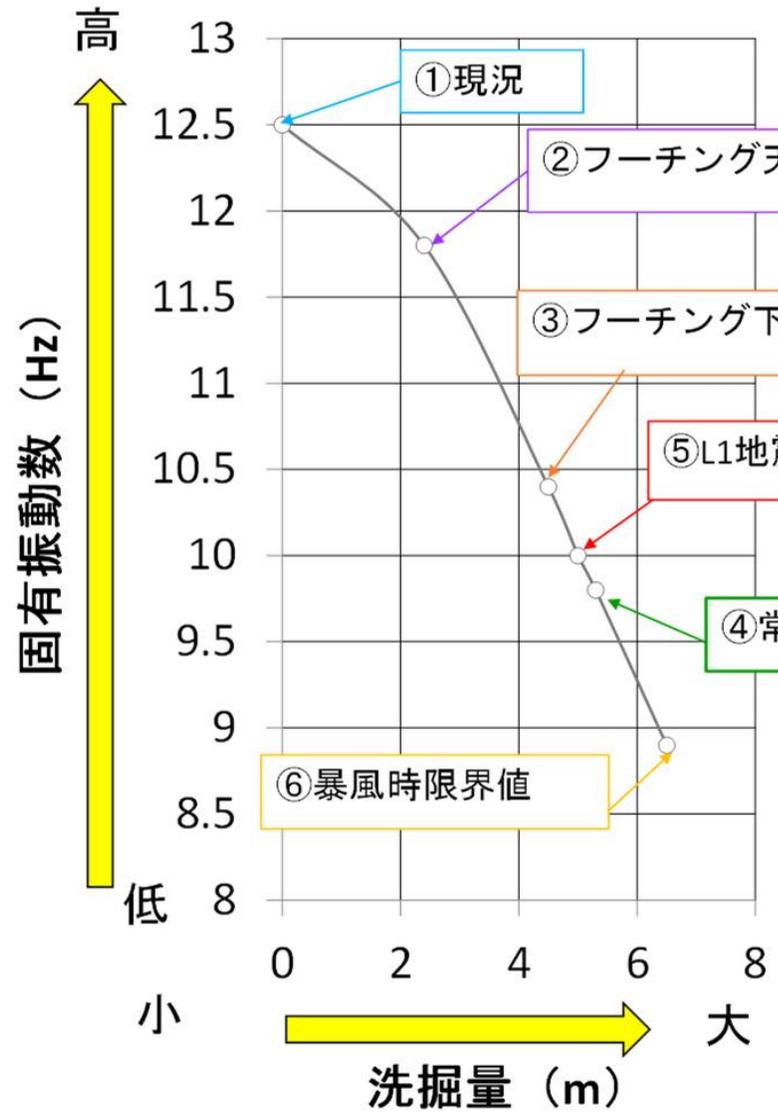
2次元の格子画像に対する位相解析手法の一つ



変位の管理値(閾値): 警戒値、通行規制値、限界値

出典: RAIMS

# 例4: 固有振動数と洗掘量の関係の例(直接基礎)



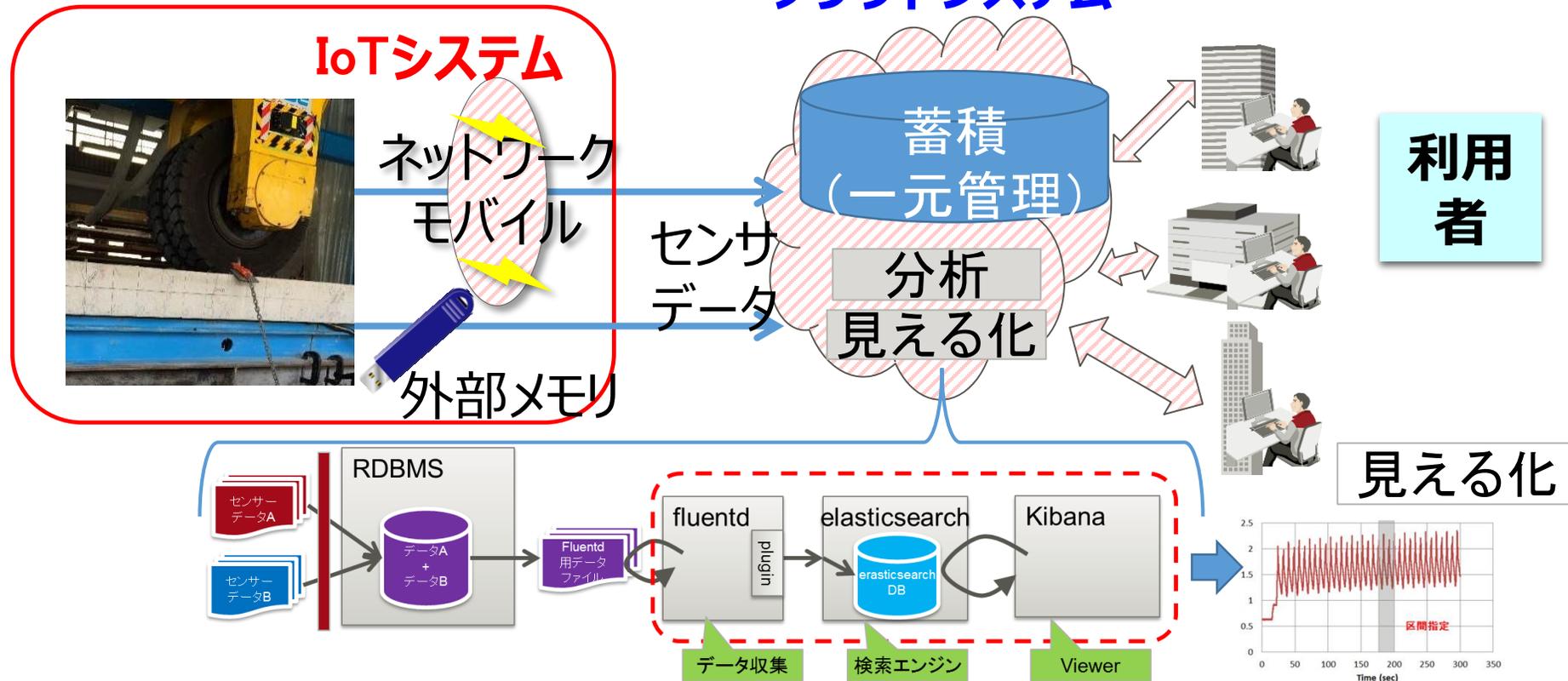
出典: RAIMS

# データ収集・蓄積・分析システム

## 【技術の特徴】

- **クラウドシステム**: 各種モニタリングデータを一元管理し, 利用者が各社自席からデータにアクセス・活用可能, 大量データ管理機能, 見える化機能.
- **IoTシステム**: モバイルネットワークで現場データを収集.

## クラウドシステム



# データの保存・活用(保存デバイス)

	PC	サーバ	クラウド
コスト	◎ ハード費用のみ	○ 高スペックPCの ハード費用が主	△ 運用コストが 発生する
保存容量	△ 約1TB	○ 約100TB	◎ ほぼ制限無し
拡張性	△ 拡張HDDの購入が 必要	△ 新規サーバ構築が 必要	◎ 好きなタイミングで 拡張可能
マルチユーザ利用	× 基本的に1人のみ	○ 社内の人間が アクセス可能	◎ 関係者全てが アクセス可能
災害対策	△ 故障してデータが 消える可能性あり	△ 停電でデータが消え る可能性あり	◎ データセンターで 管理
セキュリティ	○ ウィルス対策 ソフトで対応	○ 社内に専門家が いればよい	◎ データセンターで 管理

# RAIMS解散後

モニタリングシステム技術研究組合が残すもの(価値の創造?)

- 「土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン」の案をとっての公開
- 土木学会からの「モニタリング指針(案)」

## <価値の創造>

- 点検作業を効率化するためのモニタリング
- 措置要否を判断するためのモニタリング
- 措置順位を決定するためのモニタリング
- 状態を監視するためのモニタリング

# 今後のセンサ技術

項目	現状のセンサシステムの課題	今後のセンサシステムへの要求
センサ	大型、高価	小型、安価、高耐久性・高信頼性
電源	有線(設置困難、災害時無線) 電池(寿命短い、交換大変)	自立電源(環境発電)
通信	有線(設置困難、敷設コスト高い、災害時断線)	無線、低消費電力
回路	消費電力大	低消費電力
パッケージ	設置が不自由、大型、高価	高耐久、設置が自由、小型、安価
データ処理	データ数限定	ビックデータ処理・分析 (多数点計測、常時計測)

出典:RAIMS

# インフラのモニタリングに必要な技術:データサイエンス

- 点検・診断の強化・充実(モニタリング)
- 適切な措置の提案(コスト)
- センサ設置個所の重要性(リスク)
- センサ設置前に、損傷の予測シミュレーションを実施



センサによるデータ(AIの利用も視野に)

シミュレーションによるデータ(AIの利用も視野に)



**近接目視とセンサによるモニタリングとシミュレーションのコラボ！**  
**データ分析からの価値創造がビジネスになる(リスキング)！**

# インフラモニタリングとコミュニティレジリエンス

- 時間軸と空間軸でのレジリエンス
- リスクマネジメントとリスクコミュニケーション
- データ分析とAIシミュレーター
- 想定内と想定外への対応



ネットワーク型センサ・異種分散型センサの採用

データ駆動型の維持管理の実現

インフラ管理のデジタルトランスフォーメーション(DX)

データマイニングとプロセスマイニングが戦略

AIの積極的利用も視野に



データ分析とシミュレーター分析のコラボが鍵

# DX時代(Society 5.0)の社会実装

- Localization(仮想現実(VR)と拡張現実(AR)の融合)
- Globalization(イノベーション) ⇒ (隙間でも大きな市場)
- Mega-competition(勝ちの多様化) ⇒ (価値の多様化)
- Harmonization(データサイエンス) ⇒ (ネットワークの充実)
- SDGs(2030 Agenda) ⇒ 5つのP  
People(人間)、Planet(地球)、Prosperity(繁栄)、  
Peace(平和)、Partnership(パートナーシップ)

# 参考文献

- 1) モニタリングシステム技術研究組合 (RAIMS): 活動報告会資料、2021年4月
- 2) NTS: 巨大構造物のヘルスマニタリング、エヌ・ティー・エス、2015年3月
- 3) 土木学会構造工学委員会 橋梁振動モニタリングとその標準化小委員会: モニタリングによる橋梁の性能評価指針(案)、土木学会、2006年3月
- 4) 鋼橋技術研究会: 最新センシング技術の適用に関する研究部会 報告書、鋼橋技術研究会、2014年3月
- 5) 土木学会誌: 特集 分野横断インフラ維持管理技術の開発とその社会実装 —戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)—、土木学会、2017年10月