

# 複合構造のライフサイ

北海道大学大学院工学研究院  
横田 弘



## インフラの役割

### 社会インフラ

市民が持続可能で豊かな社会経済活動を営み、生活の安全・安心を確保し、国土の有効活用を可能にするために、社会的に共有されるもの。



## 社会に適合するインフラとは

持続可能で多様性と包摂性のある社会実現のため、構造物および構造物を含むシステムの自然変動への適応を含む強靭化を図り、さらにそれに関わる人々や周辺環境全体を含めて社会を持続可能なものとする。

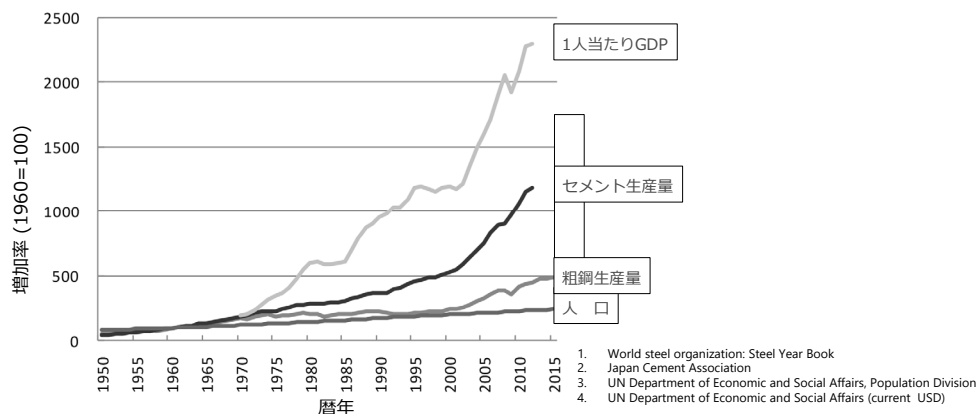
利用する人々が**社会の持続可能性**という観点で受け入れることができる状態を**社会への適合性**と定義すると、複合構造物などの社会インフラはすべて、社会への適合性が**要求性能を形成する**と捉えられる。

## 持続可能な開発 (Sustainability development)

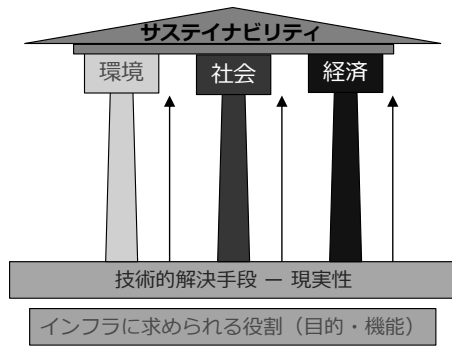




- **人口減少・少子高齢化**
  - 2025年：65歳以上の5人に1人（約700万人）が認知症に
  - 2050年：人口が9515万人に
- **社会保障費用の増大**
  - 2018年：社会保障給付費121兆円（予算ベース、平均年2%程度up）
- **膨大なインフラの維持・更新**
  - 1960年以降：2600兆円以上の建設投資（名目）を実施
  - 2038年：約6.0～6.6兆円の維持管理・更新費が必要との予測
- **自然災害のリスクの高まり**
  - 巨大地震，気候変動，感染症
- **国際競争力**
  - 建設産業の国際化，市場開放，公共調達標準化



- 生命が誕生してから38億年
- 人類が誕生してから2百万年（ホモ・ハビリス）
- 農業革命から1万年
- 産業革命から250年
- セメントの発明1824年
- 国連 Sustainability development 1987年
- COP3（Kyoto protocol）1997年
- Sustainability Development Goals (SDGs) 2015年
- COP21 Paris agreement 2015年



□ 環境的側面

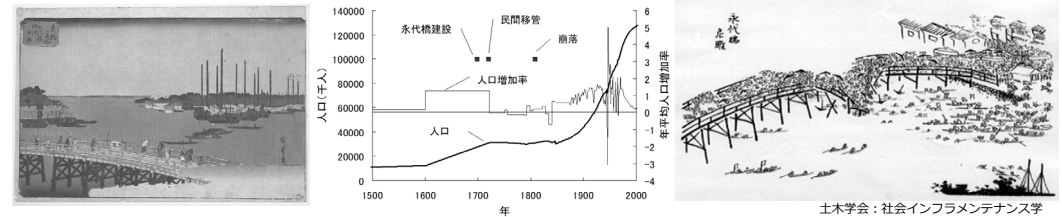
- 資源消費量
- 温暖化ガス排出量
- 廃棄物発生量 など

□ 社会的側面

- 安全・安心
- 使用性・適用性
- 社会への影響
- ユーザの満足度 など

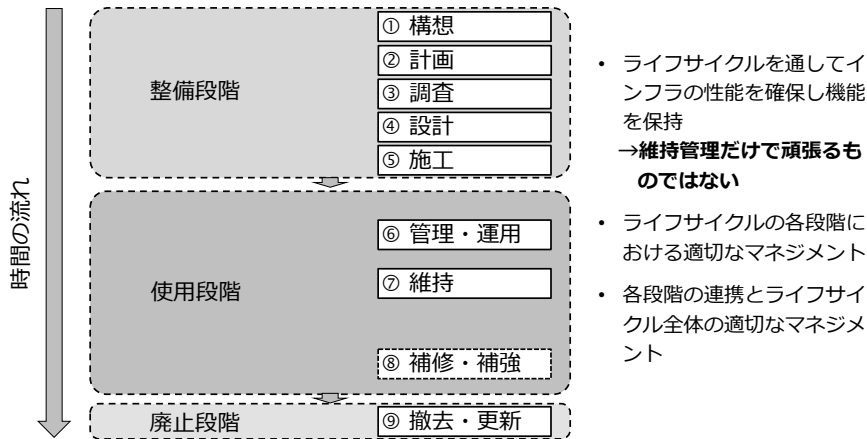
□ 経済的側面

- コスト
- 便益
- 資産価値 など

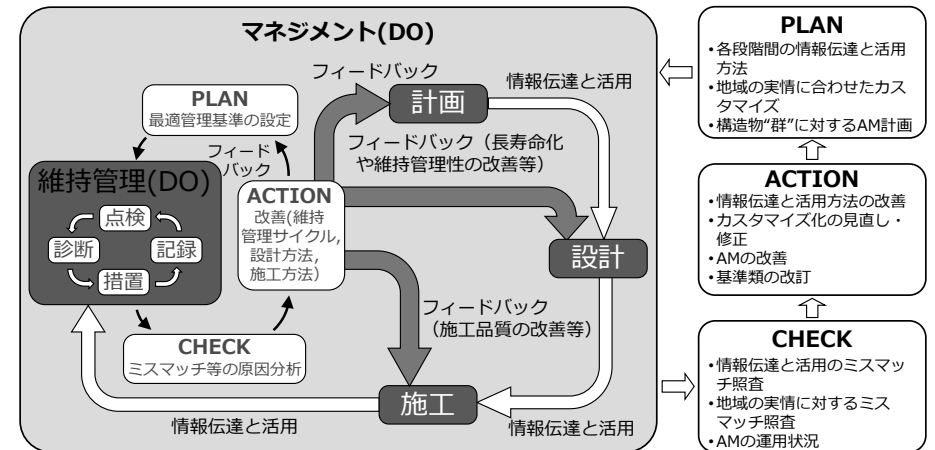
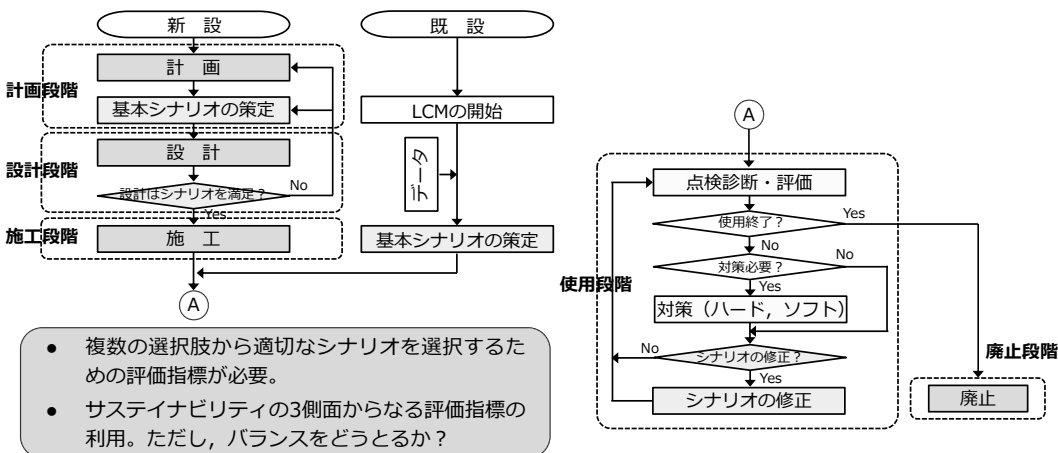


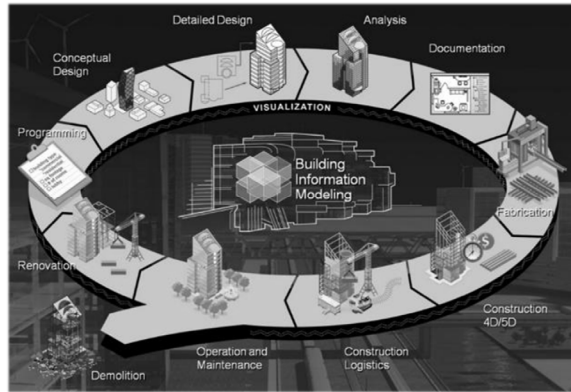
- 1698（元禄11）年架設。
- 1719（享保4）年，幕府財政逼迫のため町方に移管。
- 通行料，橋詰での市場など，財源確保の努力。
- 滝沢馬琴「朽ちて危ないから両国橋へ」と家人を注意。
- 1807（文化4）年9月20日，深川富岡八幡宮の祭礼の混雑時。死者400～1400名
- 社会情勢の変化によるメンテナンス（財源）不足。





- 社会インフラは、計画から設計、施工、使用を通して廃止に至るライフサイクルを通して、これを管理する**包括的な戦略の下**にマネジメントされるべきものである。ライフサイクルマネジメント（LCM）は、この目的のために、社会インフラのライフサイクルにおける**各作業（各段階）の接続・連携を確実に**する。
- LCMは、計画・設計時に設定された社会インフラの機能や要求性能、使用中に変更された要求性能を確保するために行われる**措置の最適化**に寄与する。
- LCMでは、設計、技術者が施工、維持のため行うべき多種多様な選択肢の中から、**サステナビリティ要素の適切なバランス**を探索し、サステナビリティの視点から適切な解を選択する必要がある。



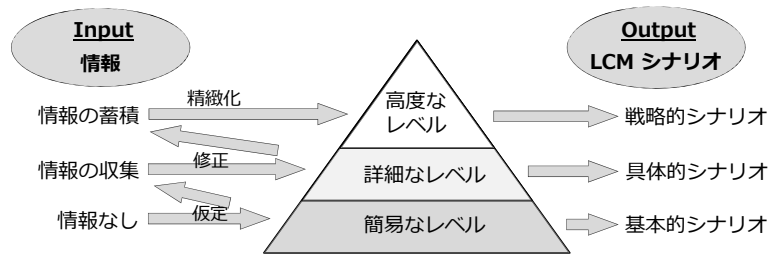
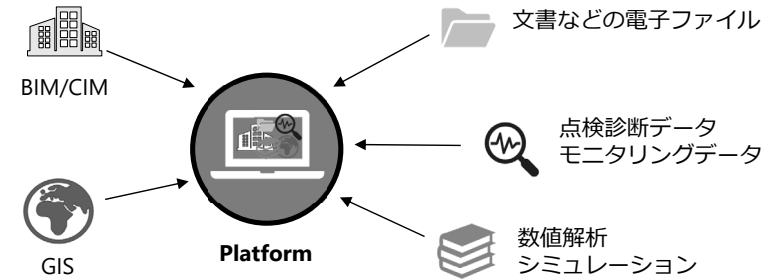


BIM project's life cycle application (Source: smrtten.com)

BIM/CIM

- データ（情報）の可視化
- データ（情報）の統合

BIM/CIMをプラットフォームとした情報の統合



Inputとしての情報の把握・理解と、Outputとしてのマネジメントのレベルを、現状と将来に対して設定することが求められる。

インフラの耐用年数

- 機能的耐用年数 予測？
- 社会的耐用年数 予測？
- 物理的耐用年数 予測○
- 経済的耐用年数 予測△

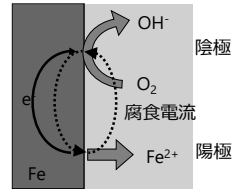
一般のインフラは**50～100年**の供用年数を設定して設計されている。

= 設計供用年数（設計耐用年数）

→ 作用の再現期間，作用回数，材料の寿命等に影響

外的作用によるインフラの劣化・損傷

- 気象作用（温度，湿度，雨かかり，積雪等）
- 塩化物イオン（海水飛沫，凍結防止剤等）
- 酸性・アルカリ性物質（二酸化炭素等）
- 微生物
- 物理的作用
- その他



• **ロバスト性 (Robustness)**

- 頑健性，構造安定性
- 人命・財産の安全性

• **レジリエンス (Resilience)**

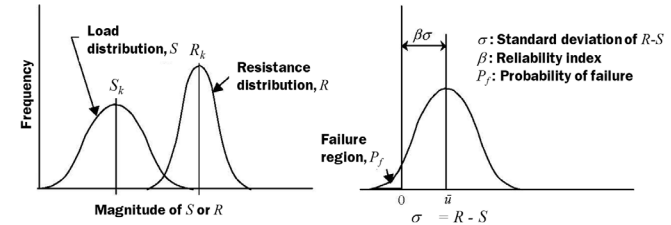
- 強靱性
- 社会システムの復旧性

• **リダンダンシー (Redundancy)**

- 冗長性
- 安全マージンの付与

$$\gamma_1 S_d / R_d \leq 1.0$$

- $\gamma_1$  : 構造物係数（包括的な安全性のマージン）
- $S_d$  : 作用の設計用値（作用係数，構造解析係数）
- $R_d$  : 保有性能の設計用値（材料係数，部材係数）

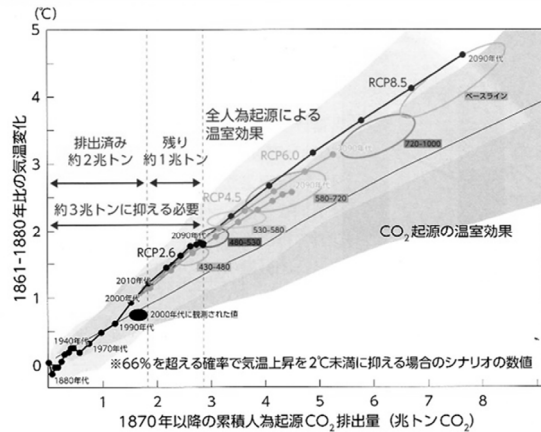


- 偶発的な（設計荷重として想定する以上の）事象に対してもある一定以上の重大な損傷に至らない能力 [頑健性，構造安定性]
- 限界状態の超過が極めて甚大な結果を及ぼす場合
  - ロバストネス指標  $I_{rob}$

$$I_{rob} = \frac{R_{dir}}{R_{dir} + R_{ind}}$$

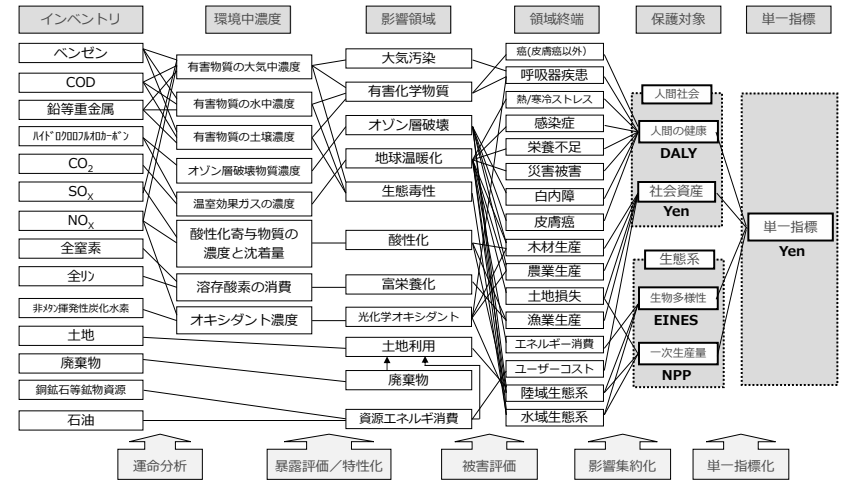
$R_{dir}$ : その部材・構造物の破損・破壊による直接的な損害のリスク

$R_{ind}$ : その部材・構造物の破損・破壊による間接的（波及的）損害のリスク

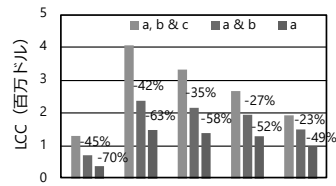
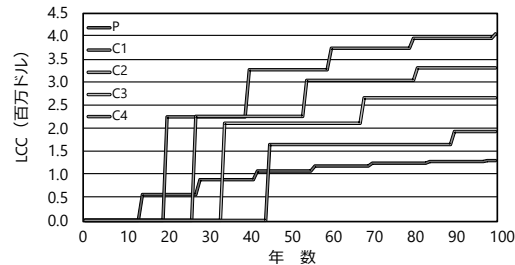


資料：気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 「第5次評価報告書統合報告書」より環境省作成

平成30年版環境白書



ライフプラン (経済的指標)



劣化度a, b, cのすべての部材を補修

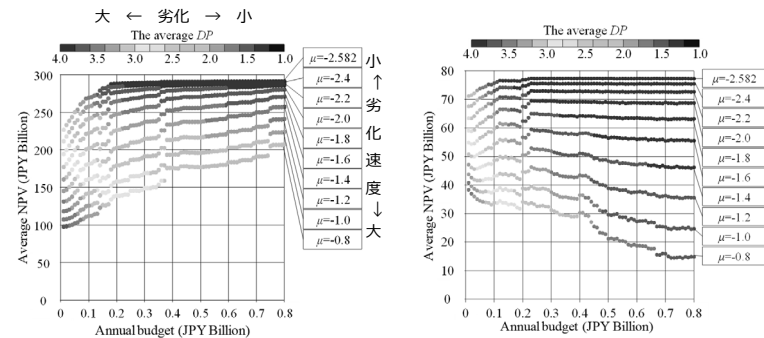
$$D_p = 4 \times a + 3 \times b + 2 \times c + 1 \times d \quad (1.0 \leq D_p \leq 4.0)$$

予防保全 P ( $D_p = 1.7$ )

事後保全 C1 ( $D_p = 2.0$ ), C2 ( $D_p = 2.3$ ), C3 ( $D_p = 2.6$ ), C4 :  $D_p = 3.0$

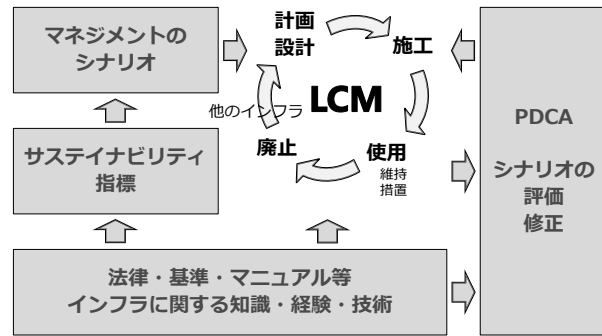
R. Bannai et al. IALCCE 2020, Shanghai

現在価値の最大化



- 予算制約のために最適なタイミングで補修ができるとは限らない
- 最大の資産管理を得るための最適な予算額が存在する可能性がある。

谷・横田：土木学会論文集F4, 70(4), 2014



- 複合構造物を含むインフラがユーザの期待に応えサステナビリティ社会の実現に寄与するためには、計画・調査・設計段階－施工段階－維持管理段階を確実に連携させること、つまりライフサイクルを十分に考えることが必要である。
- ライフサイクルの意思決定における目標関数は社会適合性としてはどうか。
  - 社会的側面：安全性→ロバスト性→レジリエンス
  - 環境的側面：グローバルな環境影響
  - 経済的側面：資産価値を評価
- 上記のバランスのとり方を急ぎ検討する必要がある。
- 維持管理社会における技術者のマインドの変革が求められる。