



GA CCC

CC AAAA GGCCI

ATAAGA CTCTAACT CI

AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCT/

CTC GCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA CCTAACT

社会インフラの劣化診断・寿命管理技術

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

CTC GCC AATTAATA

TTAATC A AAGA CCTAACT CTCA

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

ATTAATC A AAGA CCT

GA CCTAACT CTCAGACC

0011 1110 000

00 11 001010 1

11 1110 000

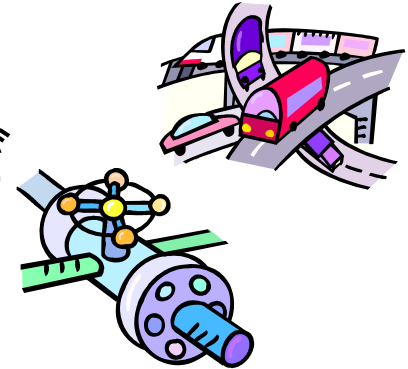
(独)科学技術振興機構
研究開発戦略センター
井上グループ 久保内 昌敏

AAT A TCTATAAGA
CTC GCC AATTAATA
TTAATC A AAGA CCT
AAT A TCTATAAGA
ATTAATC A AAGA
GA CCTAACT C
0011 1110 00
00 11 001010 1

社会インフラの劣化診断・寿命管理技術の創出

- 社会インフラ

- ライフライン; 道路・橋・鉄道・電気・水道など
- 大型のビルや産業プラントなど
 - 社会活動に大きな影響を持つ
 - 万一事故が起こると市民に重大な被害が生じる施設・設備

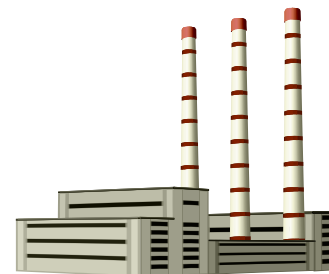
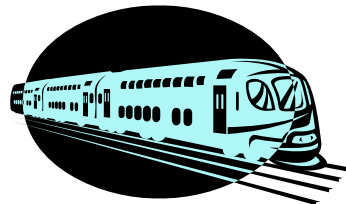
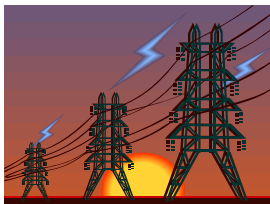
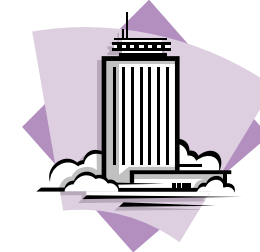


- 経年劣化を計測、診断→余寿命を評価

- 保守・補強・更新計画に反映

- 損傷・破壊の兆候を常時監視→早期に検知

- 安全を確保

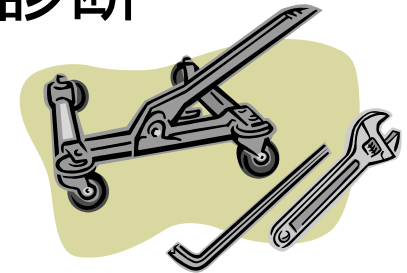


開発すべき劣化診断・寿命管理技術

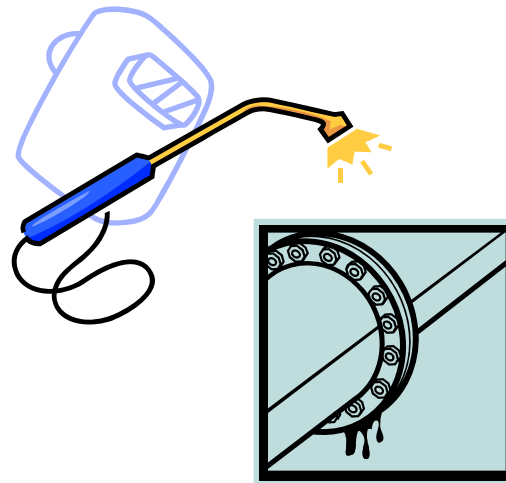
- 施設・設備の劣化・損傷を非破壊で計測・診断するためのセンサーとデータ処理技術
- 劣化現象モデル
- 破損限界評価モデル
- 稼動時のストレスや地震等の外力を考慮して余寿命を予測する技術
- 損傷・破壊の兆候を常時監視する技術
- センサーの配置最適化技術
- データ通信と処理技術
- 統合技術

社会インフラを長期間安全に使用するために

- 劣化の種類、場所、程度を正確に計測、診断
- 損傷の発生する時期を精度よく予測



- 従来の対象別の経験的な検査・診断技術に代わり、劣化現象・要因解明に遡った技術開発が必要



劣化の研究を行う意義

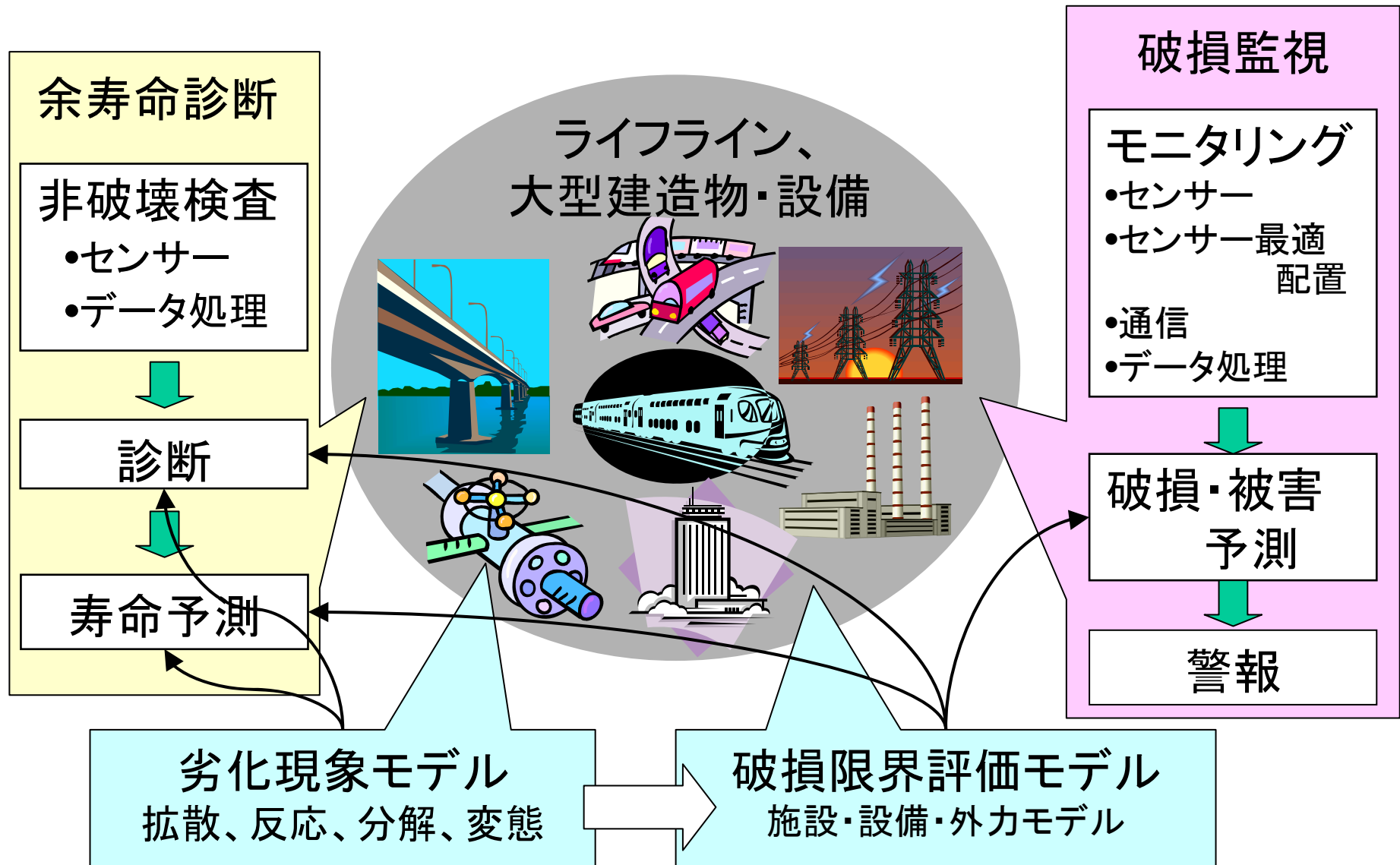
- 高度経済成長期に形成した社会インフラが高経年化しつつある(~30年)。
- 供用年数の長い社会インフラは予期しないときに損傷、破壊が起こる可能性大
- インフラの損傷や破壊は、国民の人命や財産に多大な被害をもたらす恐れがある。
- 事故に至らずとも、生活の利便性を失うことが多々ある。
- 早期に網羅的に補修・更新すれば、劣化損傷を防ぐことができるが経済的負担が大きい。

国で主導して研究開発する意義

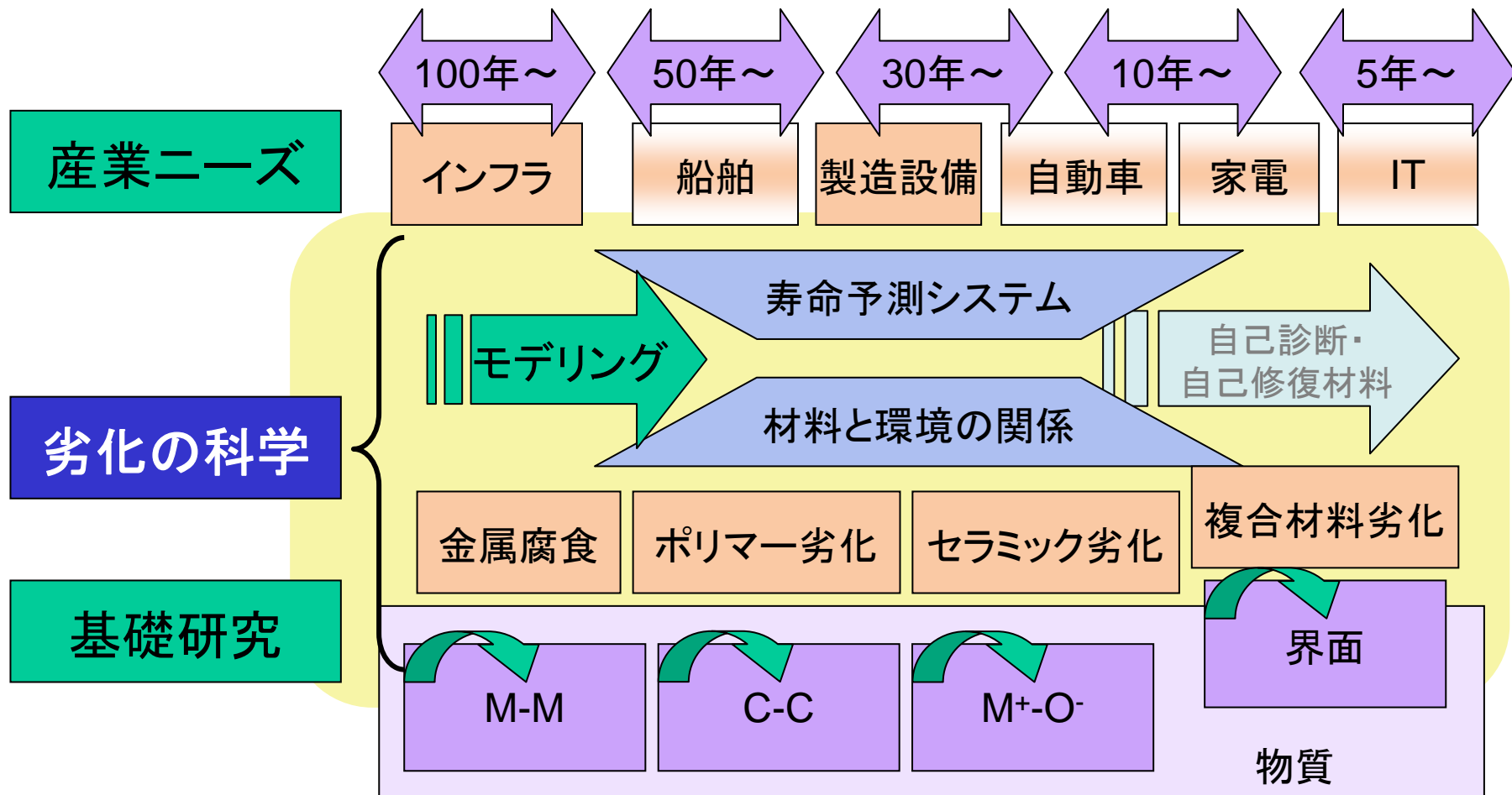
- 多くの社会インフラは維持・管理責任が国や地方自治体、独立行政法人など公共的性格を持つ組織にある
- 民間会社が個別に、基礎研究を含む技術開発を推進することは困難
- 特に計測原理や劣化のモデル化など基礎的研究を多く含み、基盤的、共通的な性格が強い技術は、国が主導して行うことが合理的
- 安全性の向上と社会の経済的負担の軽減に寄与
 - 精度良く余寿命を診断して、寿命に達したもののみを合理的に補修、更新
 - 常時監視により、早期に損傷・破壊の兆候を検出し、事故を回避
- 直接測定が困難な環境下における劣化現象も予測可能となる
 - 劣化の計測、診断(要素技術)
 - 劣化メカニズムのモデル化

背景： 社会インフラの高経年化→ 事故リスク増大

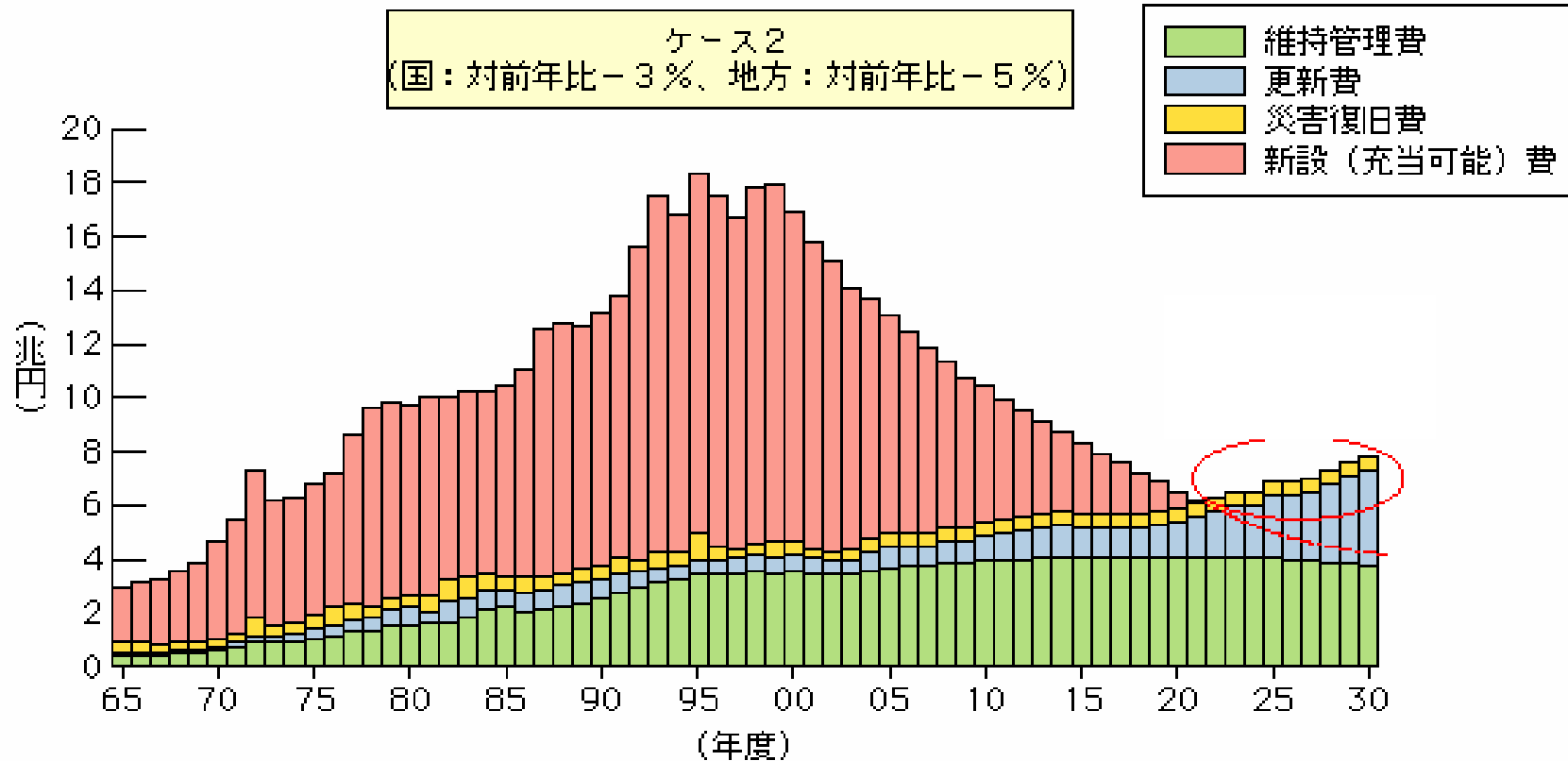
ストック型社会での負担増大



劣化の研究領域



公共投資額推計



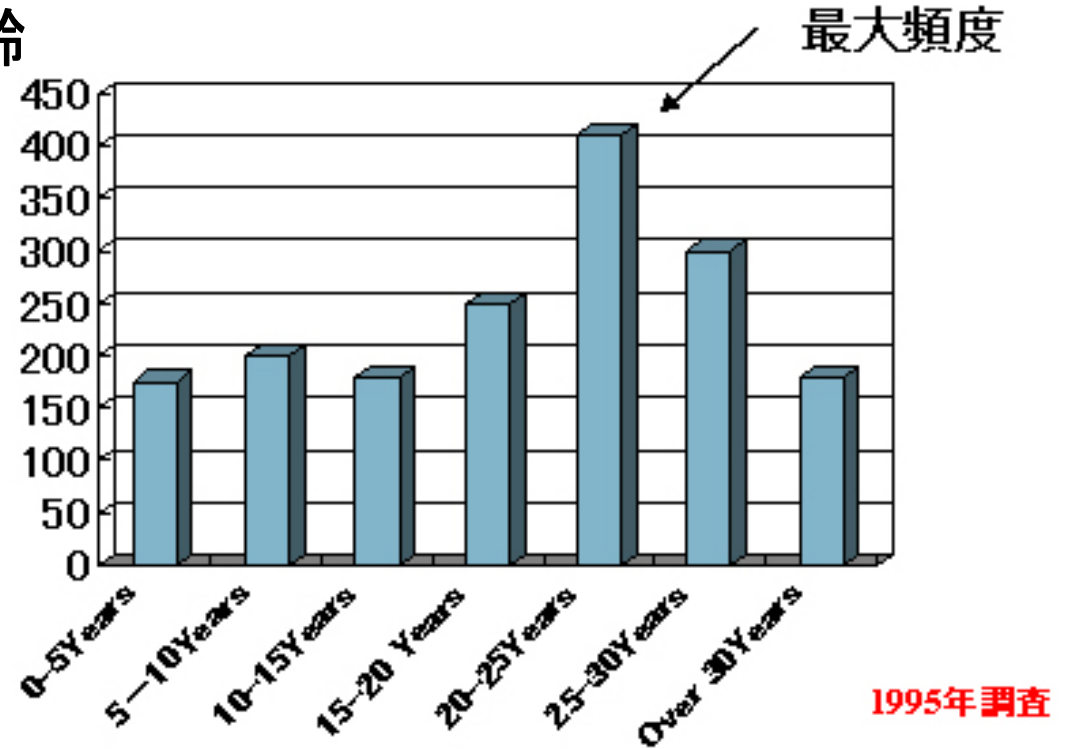
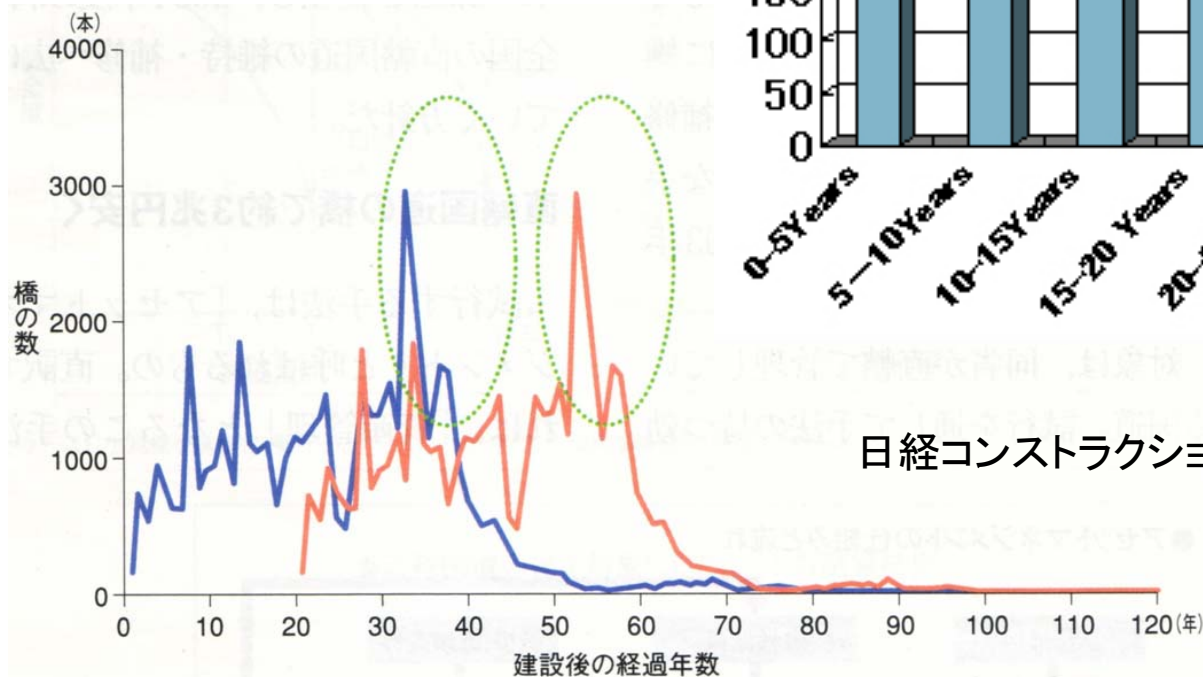
2005年までは実績、以後は推計値
インフラの公共投資額の推計例
(出典：平成17年度国土交通白書)

産業基盤設備・社会基盤施設の年齢

大規模化学プラントの年齢

(国内81事業所1680プラント)

石油学会1995調査



橋の年齢分布

腐食コスト, 2001 -物質・材料研究機構+腐食防食協会-

1. 調査対象分野

エネルギー、運輸、化学、機械、金属、建築

2. 腐食コスト

(Hoar method、1997年(日本)・1998年(米国)統計資料による)

日本: GNPの1.0% (約5.2兆円)

日本のGNP = 約550兆円

米国: GDPの3.1% (B\$276)

米国のGDP = B\$ 8,790

3. 化学工業の腐食コスト(日本)

売上の1.6% (約1兆円)

化学工業の総売上 = 66.7兆円



下水道施設と劣化

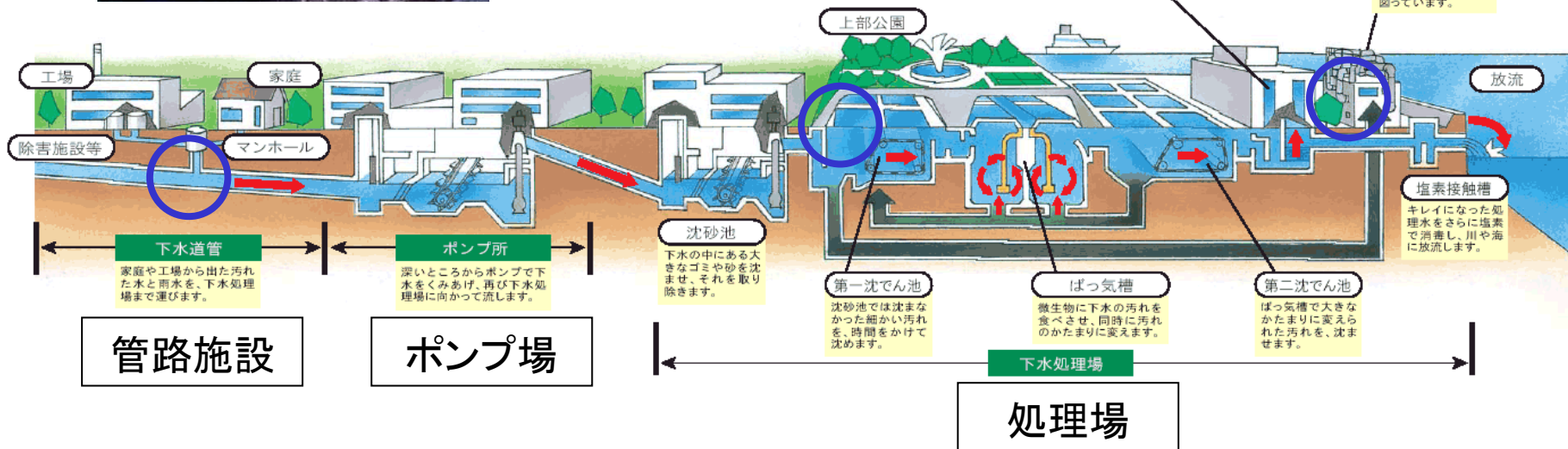
下水道管渠頂版



最初沈殿池

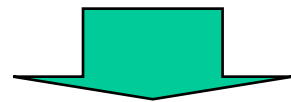


汚泥処理槽



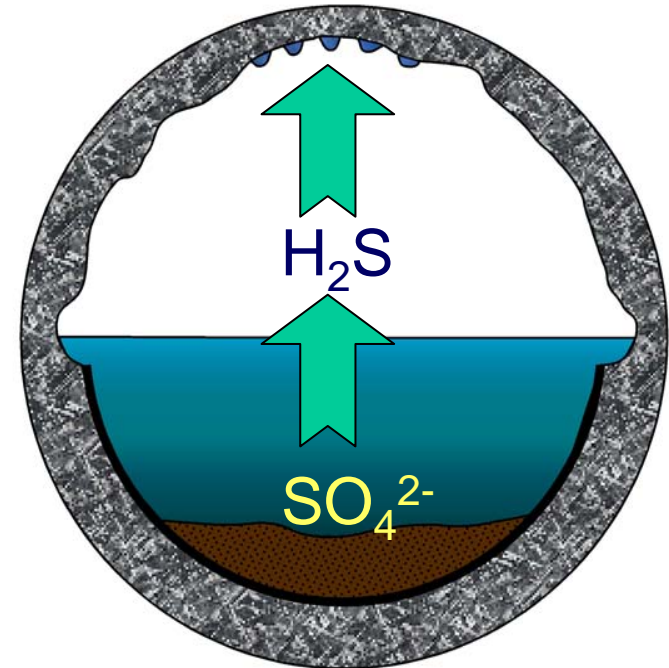
下水道コンクリート劣化と防食の問題

- 下水道におけるコンクリート構造物の硫酸劣化

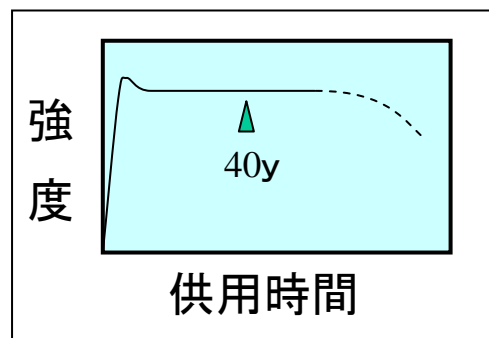
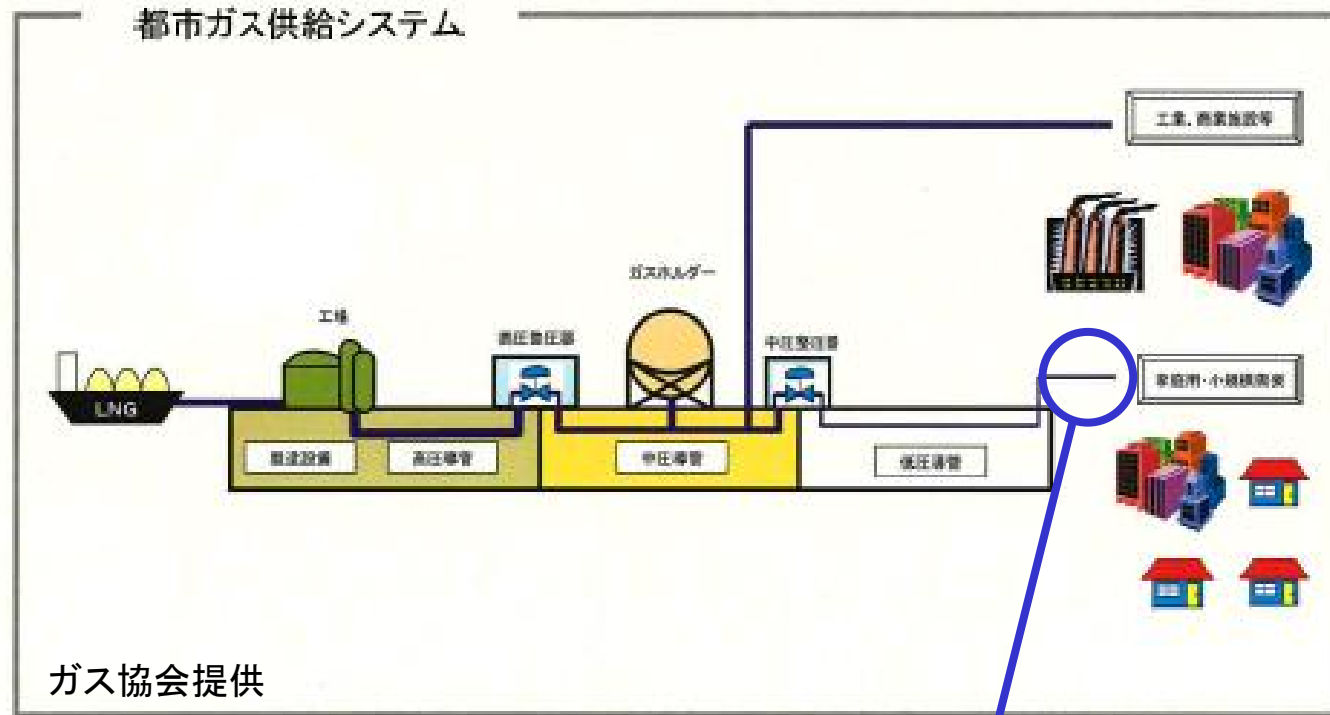


- 有機材料による補修, 防食
 - 防食樹脂材料といえども強酸環境では劣化
 - 施工性と耐食性
 - ライニング材料における硫酸を中心とした環境剤の浸入挙動

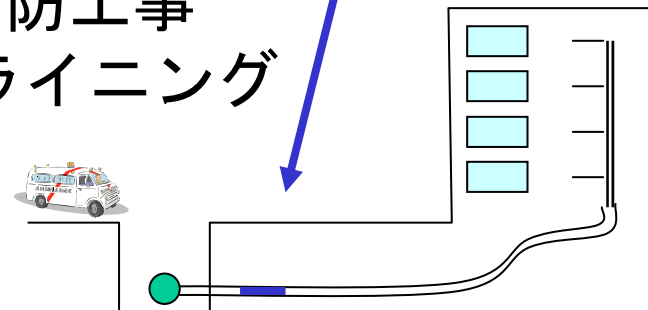
硫黄酸化細菌⇒ H_2SO_4



都市ガス供給システム



腐食漏洩予防工事
➤ 樹脂ライニング



鉄筋コンクリートの劣化

応力・中性化による劣化

▶ 道路・鉄道橋



塩害による劣化

▶ 港湾施設や食品工場



適切な維持管理(延命化)の事例; 鋼橋

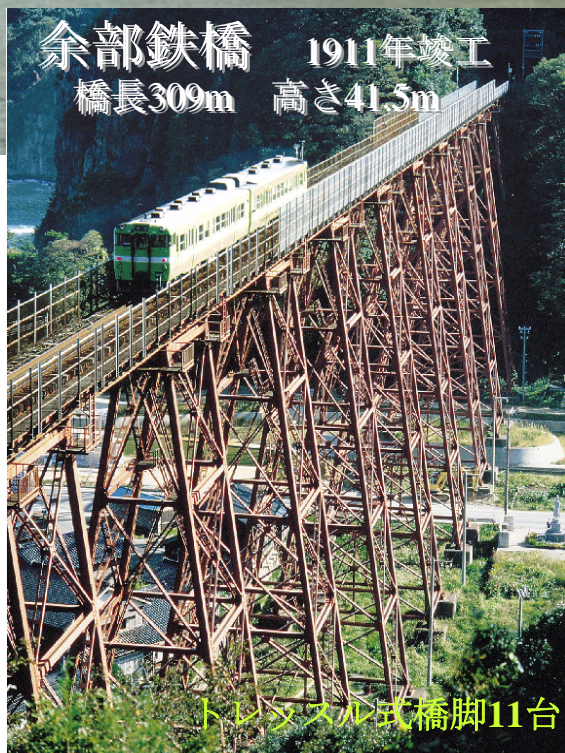
フォース鉄道橋 1890年竣工
最大支間521m 塔高105m



ブルックリン橋 1883年竣工
橋長1053m 中央支間486m 塔高84m



余部鉄橋 1911年竣工
橋長309m 高さ41.5m



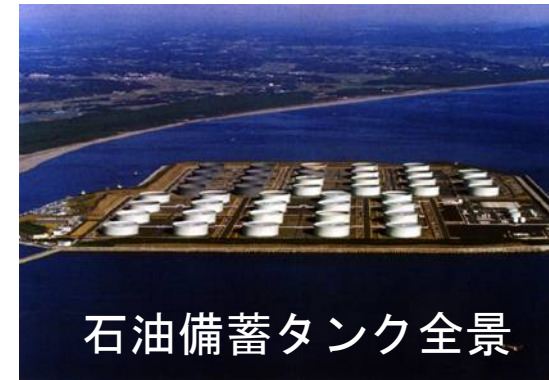
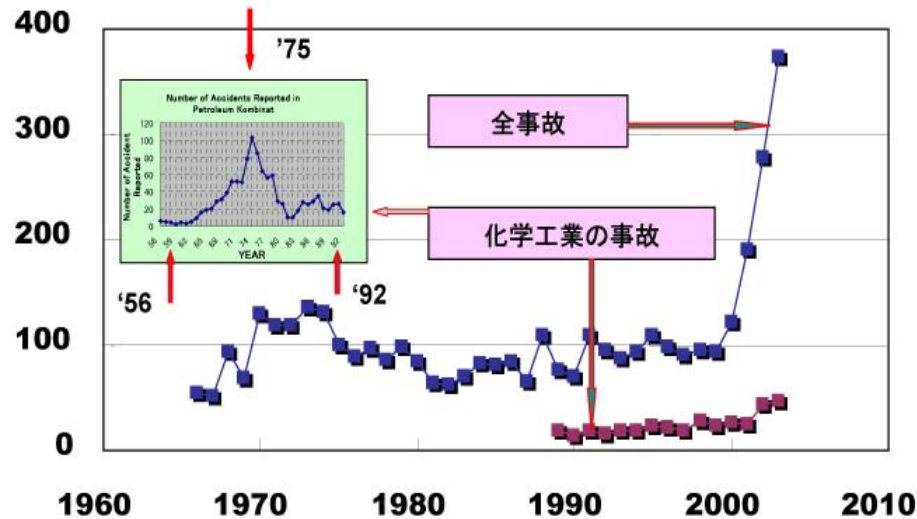
トレススル式橋脚11台



不適切な設計と維持管理の事例；鋼橋



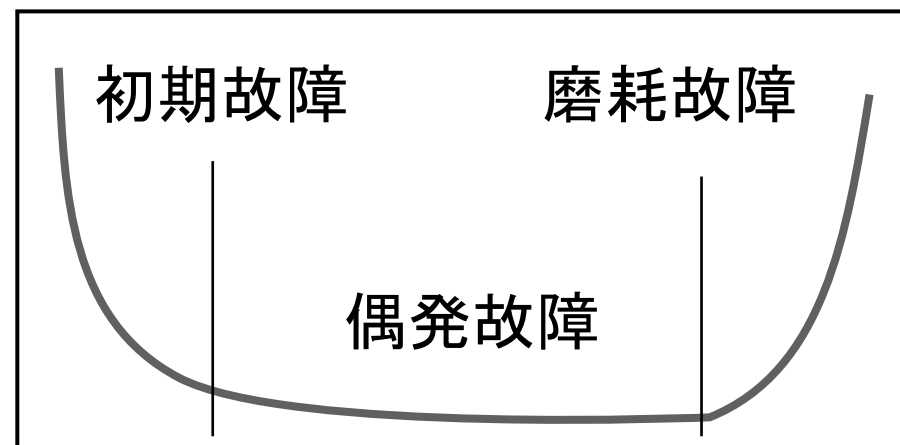
化学工業における産業事故と高経年化プラント



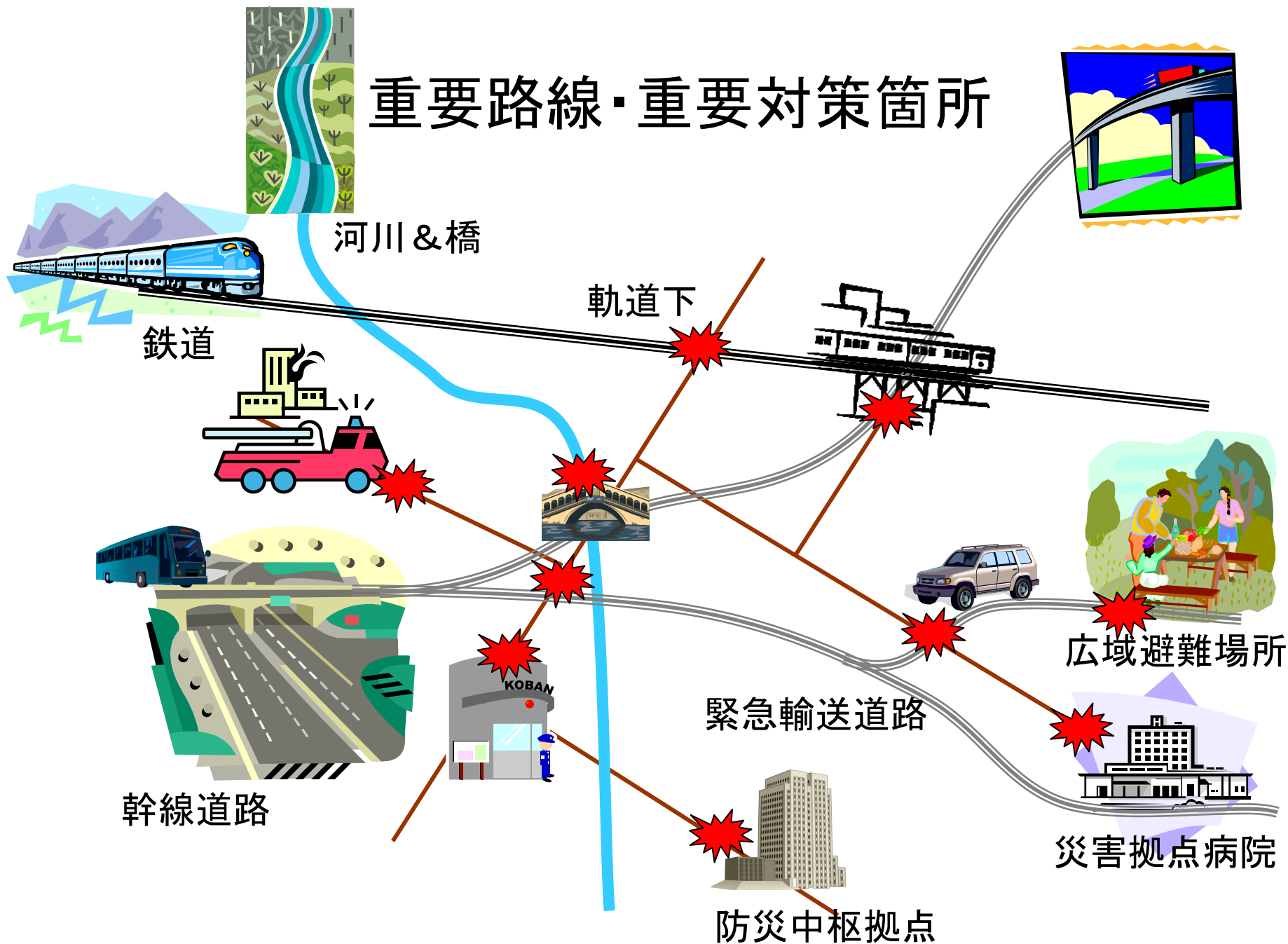
バスタブ曲線



故障率

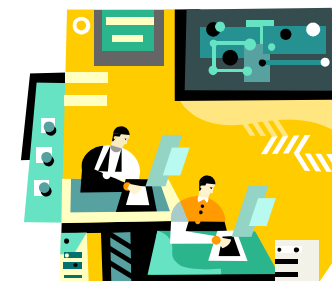


重要路線・重要対策箇所



研究開発により期待される効果

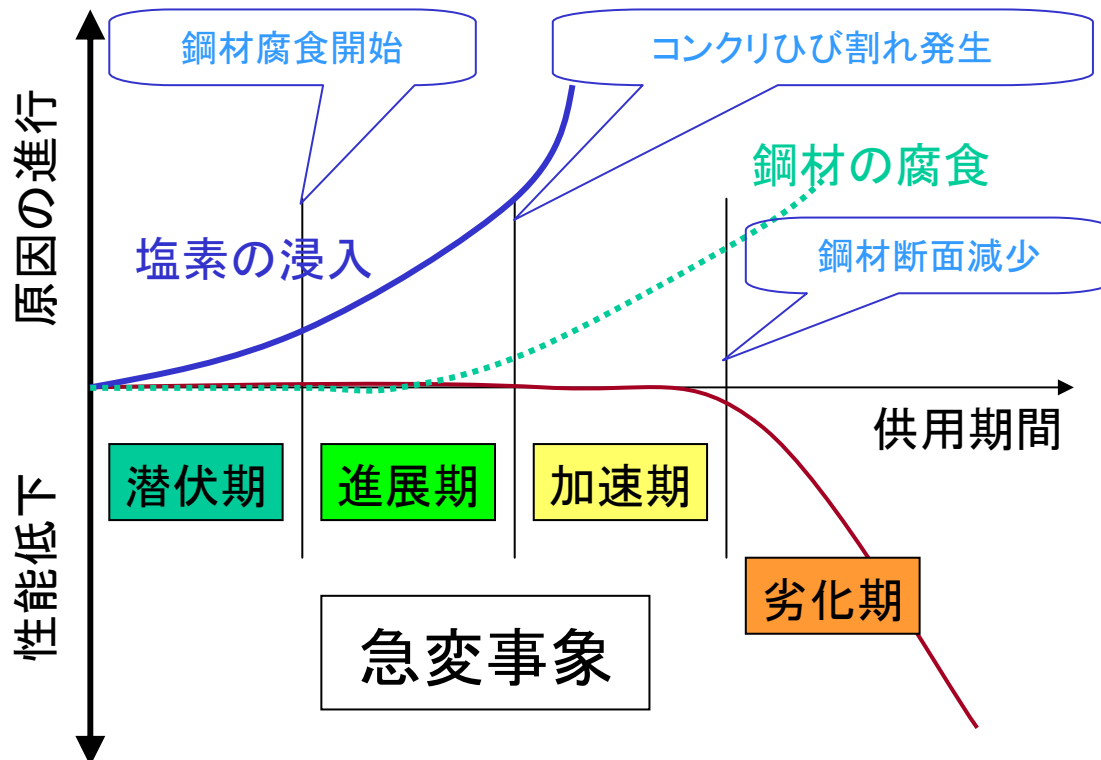
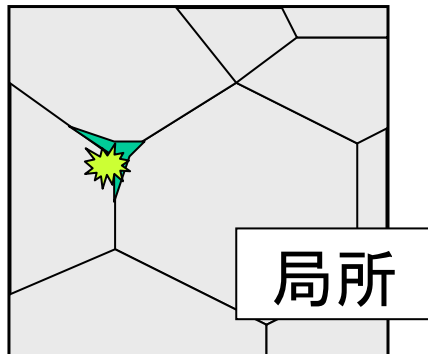
- 安全性の向上
- 管理費用の低減
- 投入資源・廃棄物の削減
- 資産管理の合理化と新ビジネスの創出
- 製品開発・設計プロセスの革新
- 劣化研究の高度化
- 極限環境下での劣化予測技術



劣化診断・寿命管理技術のブレイクスルーの狙い

- 顕在的な全面、均一、単調劣化は予測・対策可能
- 局所、急変事象が問題

局所：粒界、
界面、濃度揺らぎ



コンクリート：塩害→鉄筋腐食：一見強度急変

SCC、水素脆化、疲労、クリープ

従来の劣化研究・対策の問題点

- 経験論的・製品別 → 環境と材料・構造の組合せ多様
 - 実例＝データの取得
 - 環境変化
 - 測定困難
 - 余寿命予測精度低
 - 長期にわたる実績データが必要（RBM等でも）
 - 新製品ではデータなし→長時間試験要、精度低
 - 中小企業の新規参入困難
 - 試験ケース数増大

普遍的・機構論的劣化評価、予測技術が必要

技術シーズの例

高電界・絶縁劣化現象の評価解明（早稲田大学）

絶縁劣化現象：耐部分放電(PD)性の評価・検討（ロッド/平板電極系）

- ・劣化侵食抑制効果により耐PD性が大幅に向上(劣化進展経路の分断効果)
- ・粒径や粒子表面处理(シラカップリング処理)等による耐PD性向上効果を確認

高電界現象：基礎高電界物性の評価・検討

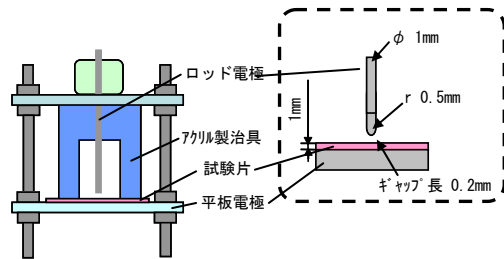
- ・開発材料の基礎物性把握（誘電/電気伝導/フォトルミネッセンス(PL)/空間電荷分布）
- ・粒子分散の良い試料では誘電率の周波数特性が安定
- ・硬化剤種類は酸無水物が絶縁材料として適切（低誘電率・高抵抗率）

目標達成度

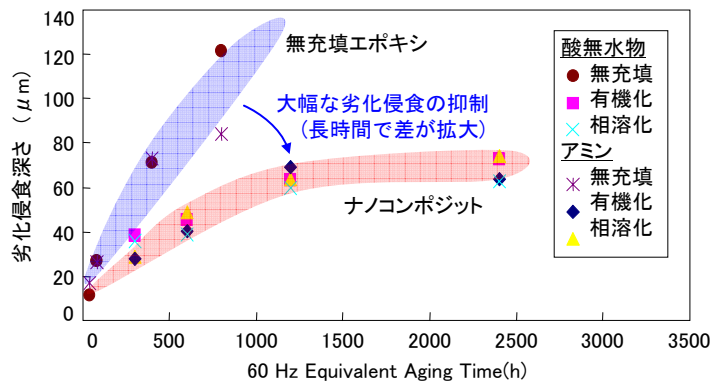
- ・絶縁寿命(目標100倍)向上の指標として、大幅な侵食劣化抑制効果を確認

今後の展開

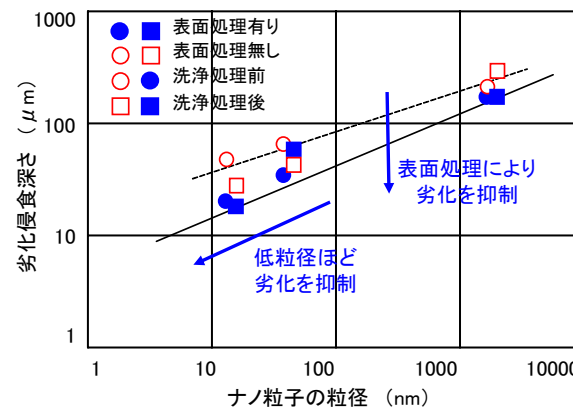
- ・良分散試料(相溶化法)で評価継続
- ・粒子種類,分散状態等の違いにつき基礎物性把握も含め更に検討



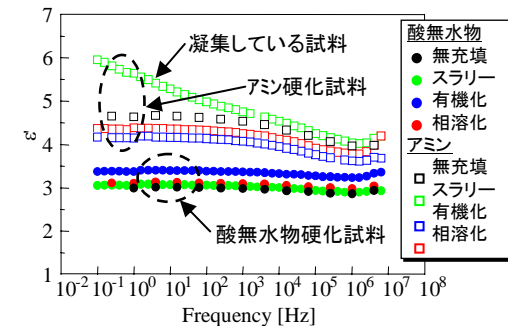
PD劣化評価試料(ロッド/平板電極系)



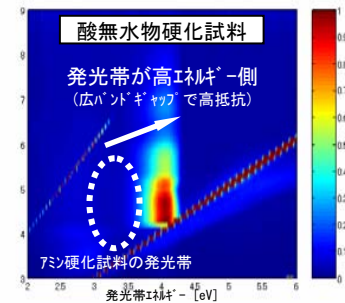
クレイ系ナノコンポジットのPD劣化耐性



PD劣化耐性への粒径効果(シリカ系)



粒子分散状態の誘電特性への影響



軌道放射光(SR)によるPL評価例

非破壊空孔三次元分布計測 陽電子マイクロプローブアナライザー

劣化診断・予測のため、劣化前駆体を非破壊非接触で計測する



不純物
空孔・ボイド
歪場等二次欠陥
化学結合切断 など

これらの凝集が劣化を誘発

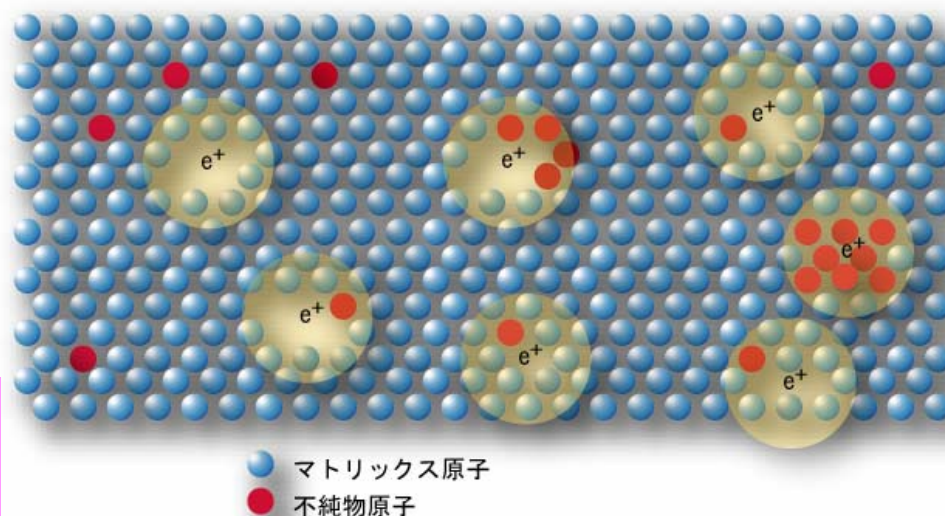
空孔起因前駆体の非破壊三次元分布計測でブレイクスルー

陽電子, e^+

- 原子空孔からナノボイド
- 空孔を核とする不純物同定



マイクロビーム化により
空孔三次元分布手法に展開



(JST先端計測分析技術・機器開発事業「透過型陽電子顕微鏡」の派生技術による開発)

陽電子マイクロプローブアナライザーの装置性能 (現状と目標:H20年度)

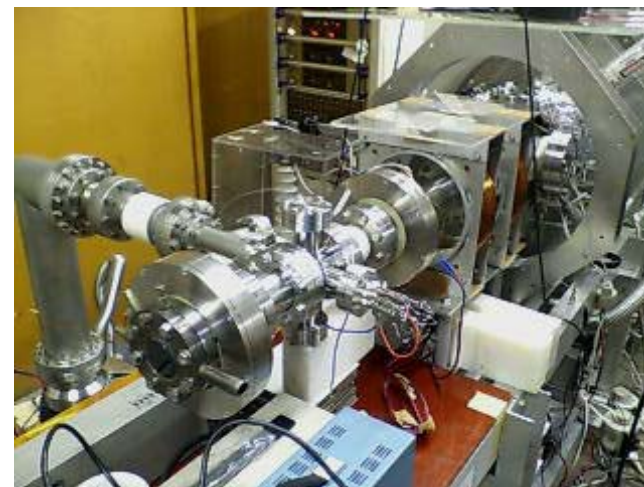
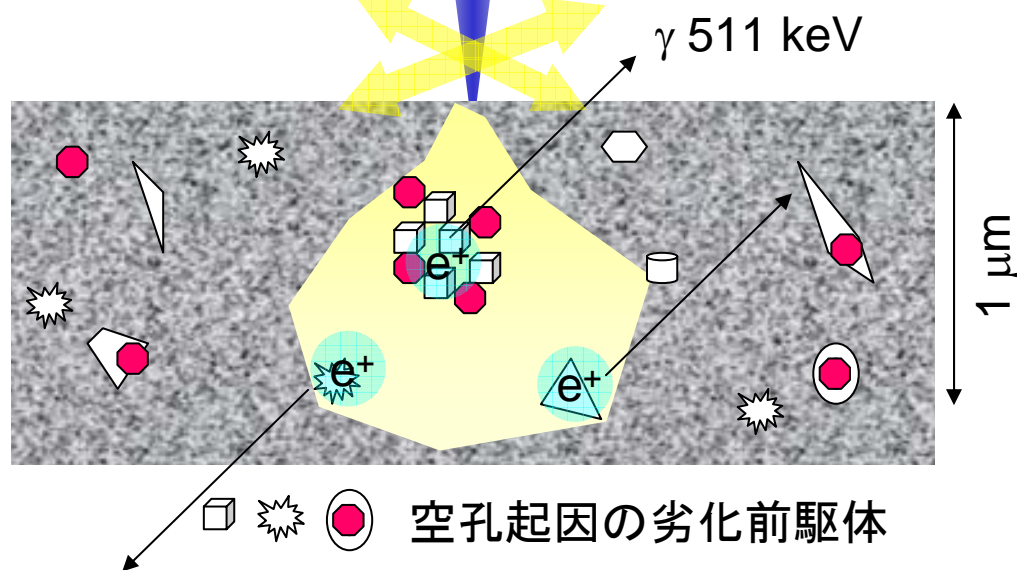
陽電子 連続&パルスビーム
0~30 keV

φ1 μmまで集束した陽電子ビームを試料上に
走査して消滅γ線を検出する。

到達ビーム径
1年前 φ10 mm
→現状 φ0.1 mm
→H19年 φ1 μm

特徴

- 陽電子寿命→空孔サイズ(原子1個から数nm)
- γ線スペクトル→空孔と結合した不純物同定
- EPMAと同程度の空間分解能(μm)
- 世界で唯一の装置



開発中の装置写真

注:再放出陽電子を検出して空間分解能をより向上させる計測手法も開発中(H21年度完成予定) 25

耐熱金属材料の高温酸化・腐食機構と対策および寿命予測

耐熱金属材料の主な用途:

火力・原子力発電, 化学工業, ガスタービン, ジェットエンジン

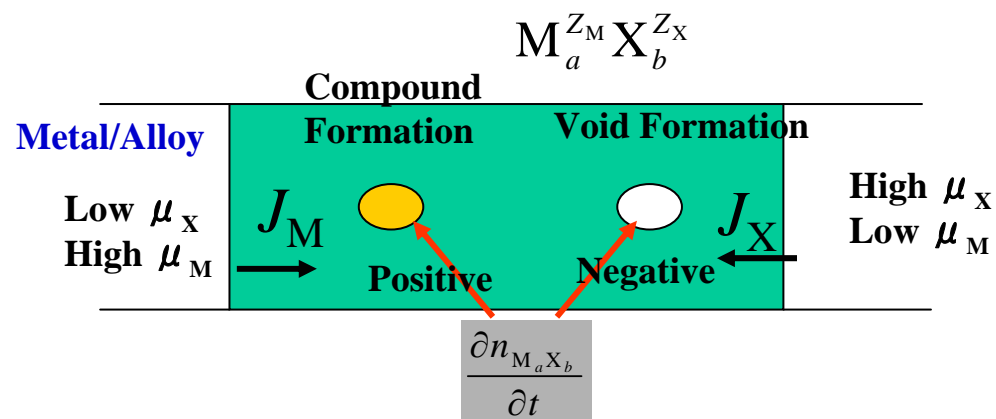
高温酸化・腐食による劣化の支配因子の定量的理解が不可欠

酸化速度: 酸化皮膜中のイオンの拡散律速 (既存のワグナー理論)

酸化皮膜組織: 生成するボイドなどは皮膜の破壊・剥離を支配する。

(理論的解析は本研究が初めて)

組織変化の基礎となる仮定



酸化皮膜中の
(電気)化学ポテンシャル分布

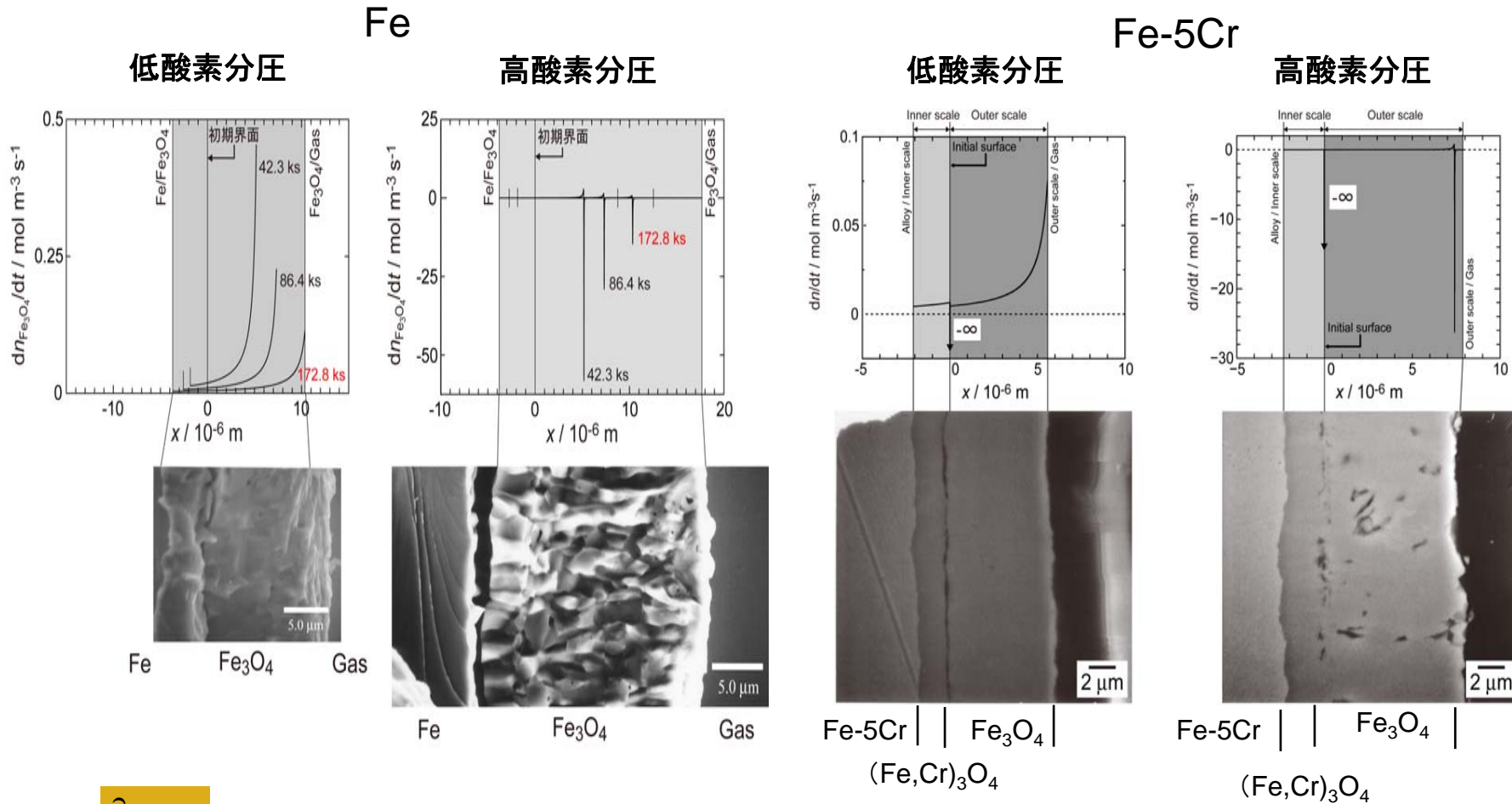
↓
イオン流束・発散

$$\frac{\partial n_{M_a X_b}}{\partial t} = -\frac{1}{a} \frac{\partial J_M}{\partial x} = -\frac{1}{b} \frac{\partial J_X}{\partial x}$$

計算からの予測と酸化組織の比較 (FeとFe-5Cr合金の高温酸化)

酸化温度: 823 K, 酸化時間: 172.8 ks

雰囲気: 低酸素分圧 ($P_{O_2}=2.5 \times 10^{-20}$ Pa), 高酸素分圧 ($P_{O_2}=4.2 \times 10^{-13}$ Pa)



$\frac{\partial n_{M_a X_b}}{\partial t}$: 負の部分でボイドの生成 (定量的解析が可能)

主な研究開発課題例

- ①鉄筋コンクリート(建設・土木関連資材等)の劣化計測、診断、寿命管理技術
 - ・内部の変状を検知する非破壊計測技術
 - ・複合要因の解明とモデル化、劣化診断技術の構築 など
- ②有機材料、複合材料(防錆・塗装等)の劣化計測、診断、寿命管理技術
 - ・高分子材料の光劣化を計測する技術の開発と、それに伴う劣化診断技術開発
 - ・高分子系複合材料の耐久性評価モデルと非破壊劣化診断技術の構築 など
- ③金属(橋梁等鋼製構造物、地下埋設管等)の劣化計測、診断、寿命管理技術
 - ・非破壊診断技術とRBIの検査有効性の確立
 - ・酸化皮膜形成のモデル化と寿命管理技術の開発 など
- ④絶縁材料(電気設備)の劣化計測、診断、寿命管理技術
 - ・絶縁材料劣化を非破壊的に計測、診断する技術の開発と、それに伴う劣化メカニズムの解明、モデル化
 - ・劣化メカニズムに立脚した寿命管理技術の開発 など