

# 「設備トラブルに見る検査技術の重要性」

## 講演骨子

1. 失敗学に見る事故の原因と検査の役割
2. 経年材の強度保証における検査に求められるもの
3. 超音波探傷における超音波伝搬基礎特性の重要性
  - 3-1 実験的可視化法について
  - 3-2 シミュレーション法について
4. 女川原発の超音波検査報道と迅速な対応ができた訳
5. トピックスとまとめ

三原 毅  
 富山大学大学院理工学研究部  
 2007年11月10日

# JST失敗知識データベースHP (<http://shippai.jst.go.jp>) より



## 原子力発電所の配管破綻で蒸気噴出

運転中の原子力発電所のケビン建屋(3階建て)内で、配管が破裂して高温の蒸気が噴出し、2階で定期点検の準備作業をしていた作業員11人のうち、4人が死亡し、2人が重体、5人が軽傷を負った。後日、重体の1人も死亡した。

## H-2Aロケット6号機打上げ失敗

H-2Aロケット6号機は、2003年11月20日(土)13時33分に種子島宇宙センターから打ち上げられた。打ち上げ後約105秒に機体搭載の計装機が52本の固体ロケットブースタの分離信号が送出されたが、右側1本の分離に失敗した。



## 深海無人探査機「かいじゅう」行方不明

海洋科学技術センター(JAMSTEC)の1万m級無人探査機「かいじゅう」は、高知県室戸岬の南東約130kmの南海トラフにおいて、南海地震に関わる長期観測データの回収に成功した直後、二次ケーブル(ランチャーとケーブルを結合するケーブル)の破断

## 富士市ビル解体工事での外壁崩落事故

静岡県富士市の7階建て旧ヤマハビル解体工事現場において、鉄骨コンクリートの外壁の一部が数十メートル下の歩道に落下。崩落当時、歩道上において信号待ちの乗用車2台が下敷きとなり、うち、自動車内で2名が死亡、2名が負傷。



## 原子力発電所のトラブル

原子力発電所は約1年に1回停止し、定期検査を行うことが法律で義務付けられている。東京電力株式会社は福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所、柏崎刈羽原子力発電所において、1980年代後半から1990年代にかけて定期検査中に自主点検作業



## みずほフィナンシャルグループ大規模システム障害

第一勧業、富士、日本興業の3銀行のシステムを「みずほ銀行」として一本化するシステム統合で、統合の方針決定が斜余曲折し、システム統合のスケジュール-統合作業が遅れて、予定していたシステム稼働テストの開始がずれ込み、十分な見極めができないうまま

## 三菱自動車のリコール隠し

三菱自動車のリコール隠し発覚の発端は、トレーラーのタイヤハブの破損事故である。2002年1月10日に、重機を運ぶ大型トレーラーから走行中にタイヤがはずれて転がり、歩いていた主婦にぶつかり、死亡した。一緒に歩いていた長男と次男も軽いやけどをした。



## 雷印乳業の乳製品による集団食中毒事件

雷印乳業(株)大飯工場製造の「低脂肪乳」等を原因とする食中毒事件は、平成12年6月27日に最初の届出がなされて以降、報告があった発生数は14、780名に達した。原因は、大飯工場において停電により製造ラインが止まり、その対応ができずに菌増殖

## 橋が開通するも、人の歩行と強風による揺れで閉鎖

ロンドンの金融街にかけたミレニアムブリッジが、開通後左右に大きく揺れ出し、3日後に閉鎖された。原因は想定以上の人数が一度に橋を渡り始めたことと、大きな揺れが引き起こされたと言われ、アリス



## 高濃度のヒドロキシルアミンの再蒸留中の爆発・火災

1. ヒドロキシルアミン50%水溶液の再蒸留塔(減圧蒸留、操業温度50℃)が爆発、火災となった。再蒸留塔は球形もな吹き飛び、周囲半径1.5kmの住宅等に爆風の被害があった。工場内はほぼ壊滅に近い被害を受けた。工場外の被害も甚大なものであった



## 日比谷線の列車脱線衝突

當日日比谷線下り線の北千住発着名行き8両編成列車の8両目車両が中目黒駅手前のカーブで脱線しはみ出した。そこへ上り線から軌道中心間隔3.5mの上り線を、東武鉄道の中目黒発竹塚行き8両編成列車が走行してきて、5両目と6両目車両が脱線車両に衝突

## H-2ロケット8号機打ち上げ失敗

1999年11月15日に、H-2ロケット8号機が種子島宇宙センターから打ち上げられた。打上げの約4分後に第1段エンジン(LE-7)が計画より早く燃焼を急停止し、ロケットは姿勢制御不能となり、墜落した。2000年1月に小笠原沖の深さ約300



## COウラン加工工場での臨界事故

1999年9月30日茨城県豊原の原子力施設が集中する地域で、高濃度ウラン燃料の加工をしていた工場での臨界事故が発生した。作業員3名が重度の被曝をし、内2名が死亡した。周辺住民なども多数被曝した。事故発生原因は国に提出し認められたマニュアルを勝手に

## JR西日本新幹線トンネルにおけるコンクリート剥落

JR山陽新幹線小倉-博多間の福岡トンネル内のコンクリートが剥落。トンネルを走行中の新幹線ひかりに直撃し、車両屋根およびパンタグラフの一部が破損した。この事故を受け山陽新幹線の全トンネルの点検を実施した。JR西日本から安全宣言が出ているにも関わ



## 高速列車ICEの脱線転覆

ドイツ鉄道の超高速列車「インターシティ・エクスプレス(ICE)」が脱線転覆。一部が道路橋脚に衝突。死者101名、負傷者200名に達した。二重構造の車輛の外輪が金属疲労で破損したことが直接の原因であった。

本質的に同じ原因の事故、失敗が繰り返される: 失敗学

# 製品クレーム、設備トラブルの原因

手抜き、隠蔽(確信犯)  
 モラル、技術者倫理.....

人為的重大ミス(うっかり)  
 失敗学:なぜミスを、ミスを起こさせない  
 心理学、大脳生理学.....

## 技術的問題

- 設計: 設計ミス、想定外の利用
- 検査: 検査対象(部品、箇所)、検査間隔  
 手法の選択、検査への認識
- 評価: 精度は検査の信頼性に依存する

# 検査計測で防げるケースも多い。

発電機器パイプ破断:  
 ジェットコースター: 大阪  
 橋梁落下: 米ミネソタ

## 製造時

- 設計(変更)
- 製造(改良、改善)
- 素材・部品の不良
- 検査

## 使用時

- 正規の使い方(操作員)
- 非常時の対応
- 日常点検・定期検査
- 補修+検査

+地震への対応

総合的な技術・体制により安全・安心が担保される  
 検査: 最後の砦として

特に...

戦後建設のインフラ: 設計寿命

## 製造時における検査

- スポット測定とフィードバック
- ・製造ラインの更新、変更時
- ・製造条件の変更時
- 常時監視
- 購入部品の検査 (納入前、全数)

選択 手法の選択 (目的、目的外使用も念頭に...)  
最終判断はコスト:ペイするか?  
(社会的責任を含む)

検討因子  
製造技術、問題発生頻度  
計測手法のチェック、技術開発も必要

**特に我が国では製造部門強く、検査・評価部門は立場弱い**  
非破壊検査、計測の有力な目的の一つ  
c.f. In Service Inspection

## 使用時における検査:特に強度保証について

従来の状況

- ・非破壊検査の目的:  
欠陥の有無判定、程度の判定は欠陥の長さ測定
- 欠陥検査のみ。構造物の強度保証には繋がらず

強度保障のためには  
破壊力学の知識(設計)  
応力、材料の許容強度  
欠陥の2次元寸法(欠陥長さ・欠陥高さ)

操業の都合で検査項目、スケジュール決まりがち  
欠陥を見つけた場合の立場も弱い  
非破壊検査技術者の社会的地位低い(国際化必要)

**背景には製造技術、製品の品質への盲目的信頼**

## 経年構造物の保守について 国土交通省HPより

例えば、塩害の激しい場所にある橋子大橋(1962年建設)では、対策が事後的になり、多くの費用が必要になり、定期的に架け替えるに至った。



## 経年構造物の問題は深刻:維持管理に支出を覚悟



橋も人間と同様に、放置すると損傷(=病気)が発生する。健全性(=健康)を維持するためには、点検・耐震補強・補修などの適切な管理を継続して行うことが重要である。

<人間>

定期健診

体質改善・治療

<橋>

定期点検

耐震補強・補修

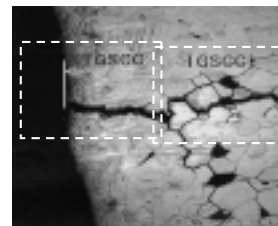
人間も橋も適切な管理を継続して行うことが重要

**状況監視、モニタリング技術 + 補修技術**

## 原子力発電機器の安全基準:強度保障最重要の例

維持基準(欠陥許容)への大転換:考え方重要  
米では1970年にスタート

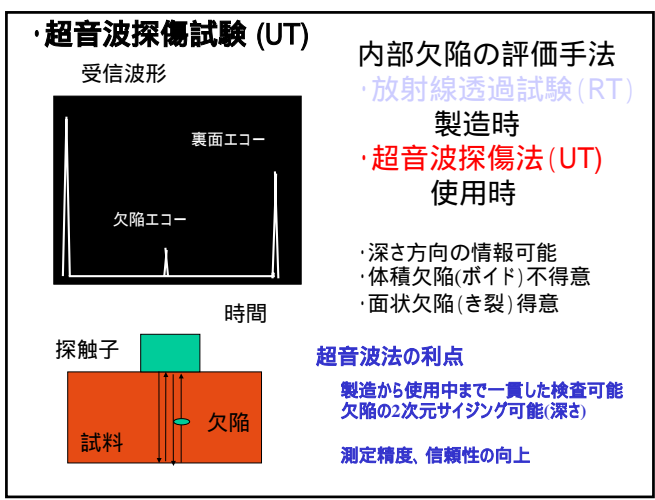
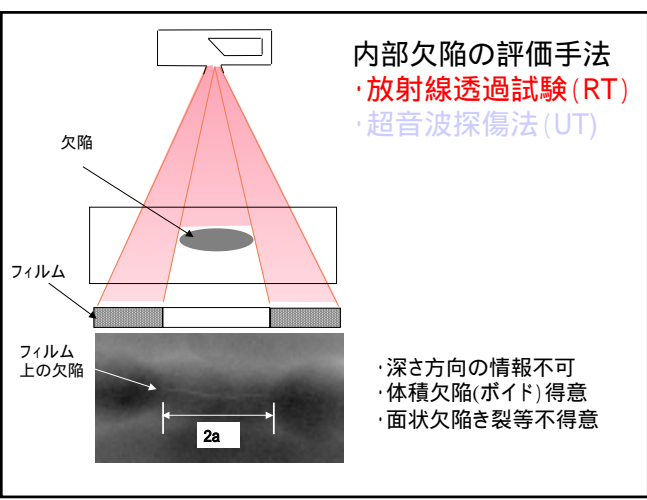
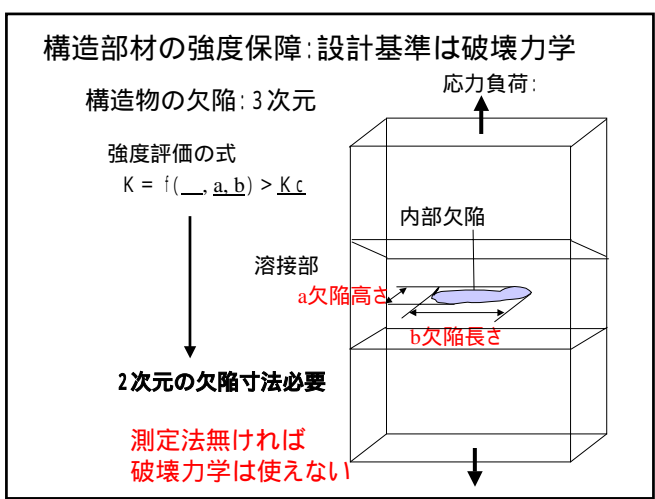
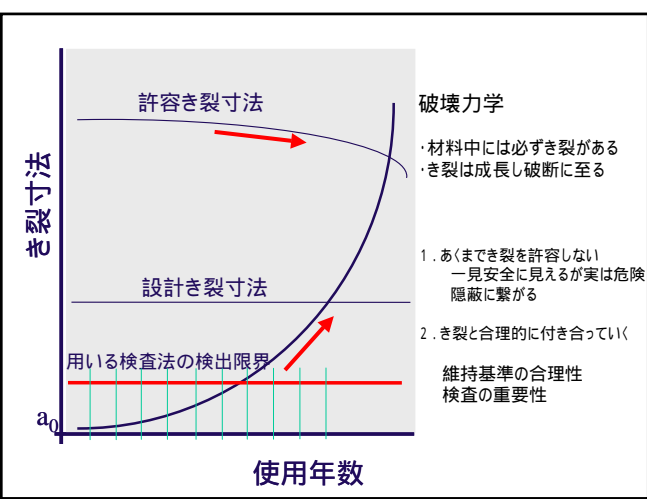
欠陥を許容しない



しかし.....

現実には原子力発電機器部材にも明確なき裂が存在した

原子力シュラウド(隔壁)のき裂 100 μm



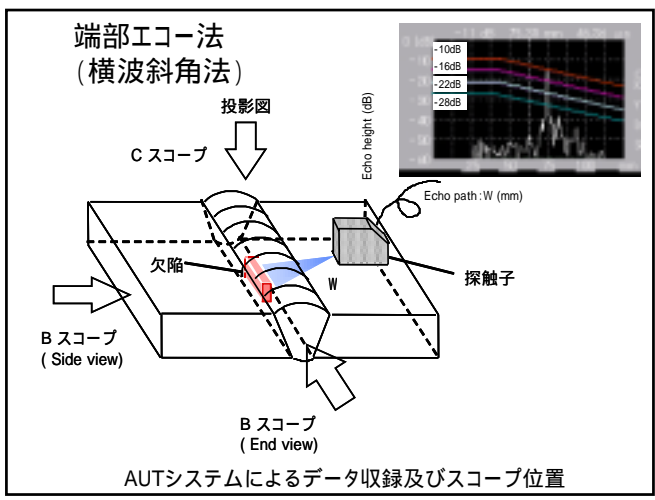
### 維持基準 (強度に影響ない小欠陥は許容)

欠陥検査の信頼性・精度: 強度保障に直結

- 検出 (見逃さないか)
- サイジング (特に欠陥高さ測定: 過小評価は不可)

検査の誤差: 設計の裕度と整合考慮必要

超音波を例に非破壊検査の難しさ、深い理解の重要性



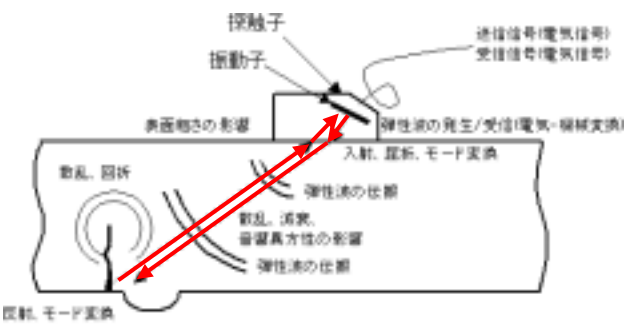


図1 超音波探傷試験における物理現象の代表例

欠陥サイジングは簡単な幾何に基づく(要注意)

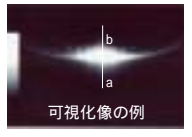
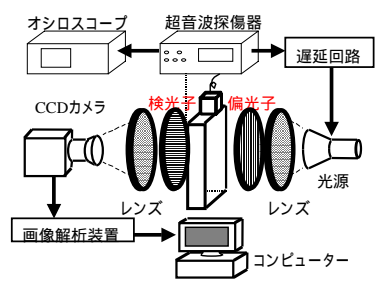
超音波伝搬の正確な把握と理解が不可欠

### 超音波音場の評価

測定探触子と探傷器の組み合わせで得られる音場の把握

【超音波可視化装置】

音響特性鋼に近いガラス



輝度  $I \propto (\sigma_1 - \sigma_2)^2$

### 可視化画像の輝度：I

$$I \approx a^2 C^2 d^2 (\sigma_1 - \sigma_2)^2$$

d: 試験片板厚, a: 定数  
C: 光弾性定数,  $\sigma_1, \sigma_2$ : 主応力

音圧  
1 for 縦波 ( $\sigma_2=0$ )  
2 for 横波 ( $\sigma_1 = -\sigma_2$ )

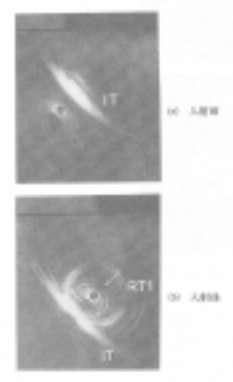


図2 欠陥からの縦波の可視化

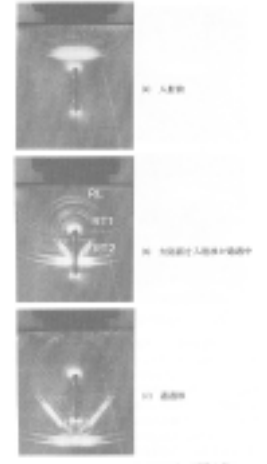


図3 欠陥内から横波への縦波の可視化

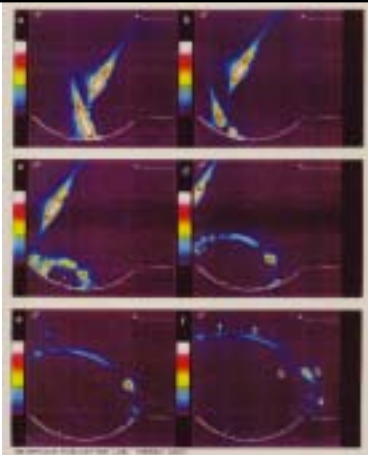


図4 欠陥の可視化挙動(音響スリット)

**適用の例**

曲面入射波 (R15mm、スネルの法則との不一致 (縦波の屈折が小さい?)

