

日本学術会議シンポジウム
「福島事故への科学者の役割と責任」
2011. 11. 26

「機械分野からの貢献」

日本機械学会「東日本大地震調査・提言分科会」主査
横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター特任教授
日本学術会議連携会員
白鳥正樹

WGの構成

- WG1 機械設備等の被害状況と耐震対策技術の有効性
〔主査; 藤田 聡(東京電機大学)〕
- WG2 力学体系に基づく津波被害のメカニズムの理解
〔主査; 吉村 忍(東京大学)〕
- WG3 被災地で活動できるロボット課題の整理
〔主査; 大隅 久(中央大学)〕
- WG4 被災地周辺の交通、物流分析
〔主査; 永井正夫(東京農工大学)〕
- WG5 エネルギーインフラの諸問題
〔主査; 小泉 安郎(信州大学)〕
- WG6 原子力規格基準等の課題と今後の方向性
〔主査; 森下正樹 (日本原子力研究開発機構)〕
- WG7 地震、原発事故等に対する危機管理
〔主査; 近藤恵嗣(福田・近藤法律事務所)〕



一般社団法人

日本機械学会

The Japan Society of Mechanical Engineers

東日本大震災調査・提言分科会

調査・提言の基本方針

- 調査・提言に当たっては**公平、公正、公開**を旨とする
- 地震、津波および両者の重畳によって生じた被害について調べる
- 政府、各企業等のすでに公表された情報のみならず、**アンケート調査、現地ヒアリング調査**等を行う
- 被害の大きいところだけでなく、比較的軽微の被害にとどまったところも調査し、**地震対策の成功事例**についても積極的に取り上げる
- 調査の途中段階においても、部分的にまとまった情報については適宜**会員および市民に向けて発信**する



会員および市民への発信

日本機械学会2011年次大会特別企画：

市民フォーラム：「大震災を克服し持続可能な社会を築くために」

2011. 9. 11 東京工業大学

- ・ 基調講演：「工学の社会的使命の原点を考えるー東日本大震災と原発事故に学ぶー」 芝浦工業大学学長、日本工学会会長
- ・ 日本学術会議機械工学委員会東日本大震災対応分科会告
- ・ 日本機械学会東日本大震災調査・提言分科会報告
- ・ フォーラム「大震災から何を学ぶか」
 - (1) 失敗学から見た福島原発事故 中尾政之(東大)
 - (2) JR東日本の地震対策について 石司次男(JR東日本)
 - (3) 災害に強いものづくりと流通のシステム 荒木勉(上智大)

このほか学会誌、ホームページ等により会員に向けて適宜報告を行っている。

時系列にもとづく原発事故の課題の整理

1) 3. 11以前

- ・なぜ事故は予測(あるいは未然に防ぐことが)できなかったか:

事故調査委員会の成果に期待

(2) 3. 11以降 短期的課題

- ・シビアアクシデントマネジメントは適切であったか
- ・冷温停止までのシナリオづくりにどう貢献できたか

刻々の情報が手に入らないため、現場の技術者、作業者の活躍に期待せざるを得ない。評価は後ですることになるが、そのためのデータをきちんと取って保存しておくことが重要

周辺からのサポートとしてロボット、交通・物流等がある

(3) 中長期的課題

- ・BDBA(Beyond Design Based Accident)を見据えた規格・基準の見し:
日本機械学会が取り組むべき課題

ロボット：福島原発での利用

瓦礫撤去

屋外：瓦礫撤去への無人化施工技術導入

屋内：ウォリアー

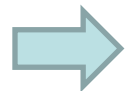
被災状況の調査（空中，屋内）

空中：Tホーク

屋内：Packbot, Quince

課題

高放射線下，確実性，無線



電子回路，部品の放射線テスト結果より，
通常の部品が1000時間程度はそのまま利用可能

ロボット：福島原発での利用

残されている課題

- 線量・湿度などのモニタリング
- 配管や弁などの状態の把握（遠隔撮影）
- 除染・遮蔽
- 機材の運搬
- 安定冷却のための機器設置
- 建屋カバーの設置
- 燃料の取り出し
- 廃炉・解体

WG4：被災地周辺の交通・物流分析

鉄道

- ほとんどが地震による土木被害と津波による被害で、機械的な駅舎、線路、架線には被害多数被害は少ない
- 新幹線は東北新幹線で、27本が運行走行中であつた。早期地震検知警報システム（ユレダス）のおかげで運用車両は早期減速、停車し脱線等はなし
- 津波により流された車両もあつたが、すべて避難誘導済であつた

WG4：被災地周辺の交通・物流分析

自動車

- 道路の破壊、交通規制、ガソリン不足等で地震直後は機能せず
- 自動車通行実績情報マップの早期導入によって、通行可能な道路の情報は早くから得られていた
- トラック等の大型車についても同様のシステムがあった
- 道路に関しては「くしの歯作戦」が功を奏し早急に回復した

新幹線における地震対策

ユレダス(UrEDAS)

地震の初期微動(P波)を感知して警報を発するシステムで、列車はこれを受けて停止する。東海道新幹線、山陽新幹線、東北新幹線、上越新幹線、長野新幹線、東京メトロ、等に導入済。現在ではさらに処理速度の速いFREQL(フレックル)が開発されている。

→S波の9秒前、もっとも大きな揺れの1分以上前に停止開始

逸脱防止ガード

仮に脱線が起こった場合でも車両が大きく軌道を外れることを防止する装置。**中越地震での上越新幹線の脱線を契機に開発、導入**されている。

→脱線自体を防止する脱線防止ガードも含めて、東海道新幹線、山陽新幹線でも設置・導入予定



一般社団法人

日本機械学会

The Japan Society of Mechanical Engineers

東日本大震災調査・提言分科会

経過報告

日本機械学会・東日本大震災調査・提言分科会
WG6: 原子力規格基準等の課題と今後の方向性

日本機械学会発電設備規格委員会



一般社団法人

日本機械学会

The Japan Society of Mechanical Engineers

東日本大震災調査・提言分科会

活動の目的とメンバー構成

活動目的：

- 東北地方太平洋沖地震と津波によって原子力設備が受けた被害とその推移（事故）並びにそれらの原因を（機械学会が関与出来る範囲で）調査
- 被害や事故について根本原因分析や規格基準類との関連性等を中心とする考察
- 地震や津波の対策が有効であった事例（成功事例）についても分析，考察
- これらの検討結果に基づき，今後の原子力規格基準の在り方について，原子力施設の安全性向上につなげる具体的提言としてとりまとめる。

発電用設備規格委員会と連携した活動

地震・津波と原子力発電所

発電所	地震 gal	津波 m	地震・津波の影響		
	*1		止める*2	冷やす*3	閉込める
東通 1	17/450	>4	◎	◎	◎
女川 1~3	587/529	~13	◎	◎	◎
福島第一 1~6	550/438	14~15	◎	×	×
福島第二 1~4	277/428	~7	◎	◎	◎
東海第二	225/400	5.4	◎	◎	◎

*1 最大加速度の代表値
観測値/設計値

*2 地震自動スクラム
(全プラントで成功)

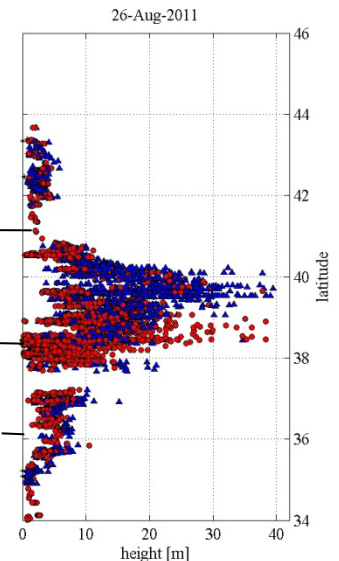
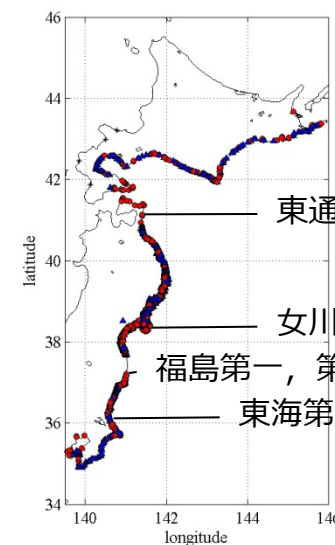
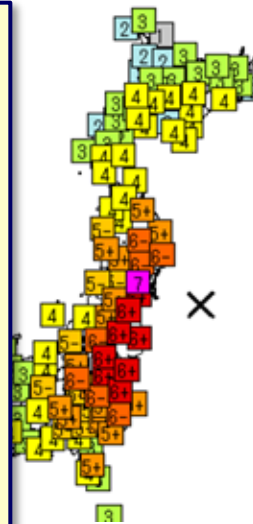
*3 構造健全性と
非常用電源の確保

福島第一発電所：

- 地震による自動停止成功
- 地震による外部電源喪失
- 津波による非常用発電設備等の機能喪失
- 長時間の全電源喪失
- 原子炉冷却の失敗
- 炉心損傷，水素爆発に至る

福島第一発電所以外

- 地震による自動停止成功
- 地震による外部電源喪失
- 非常用発電機能は維持された（対津波）
- 機器配管の損傷は報告されていない
- 原子炉冷却に成功



気象庁及び東北地方太平洋沖地震津波
合同調査グループの資料を加筆修正
2011.9.15資料

検討の視点

視点1： 事故は何故防げなかったか.

- リスク管理がなぜできなかったか.
- 原子力規制の在り方，法規—指針類—国の基準—民間規格の体系，新知見の反映の仕組み，等の視点から規制体系，体制の問題点を検討.

➔ 安全確保のための規制，規格基準のあるべき姿の検討

視点2： 苛酷な自然災害（ハザード）に対する安全性向上策は.

【事故の防止】

- 苛酷な自然災害時の安全確保のために，最新の知見を反映して「設計条件」を適切に設定・見直し、設備等の対策を改良・改善していくことの必要性は勿論のこと、
- 設計条件を越える事象に対しても何らかの対策を準備しておくことが必要

➔ 事故対策設備（例：全電源喪失時の炉心注水機能）に関する設計ガイドラインの検討

【事故の影響緩和】

- 炉心損傷事故時の原子炉容器，格納容器の健全性維持は周辺環境への放射性物質の放散抑制の観点から極めて重要.
- 格納容器は水素に対する耐漏えい機能の維持もアクシデントマネジメントの観点から必要.

➔ 炉心損傷事故対応の構造評価ガイドライン（評価手法と判断基準）の検討

視点3： 耐震設計は機能したか，課題はないか.

- 今回の地震において，全てのプラントは安全に自動停止した．また，安全上重要な設備機器配管の損傷や機能喪失などは現在のところ報告されていない（耐震設計は機能した）
- 一方で，設計条件を超える地震に対して，現在の耐震設計の安全裕度，機器等の破損限界（実力）の把握が重要

➔ 限界強度の把握と安全裕度の定量化の検討

まとめ・今後の進め方

WG6（原子力）では、検討の視点を以下の3点に整理し、主として規格基準の観点から事故の根本原因の検討と安全性向上のための方策を検討している。

- 視点1： 安全確保のための規制，規格基準のあるべき姿
- 視点2： 炉心損傷事故の防止と影響緩和のために必要な規格基準
- 視点3： 耐震設計の検討

検討結果は、随時タイムリーに発信していきたいと考えている。

本会発電用設備規格委員会においても、本WGとの連携のもとで、
「事故対策設備に関する設計ガイドライン」
をタイムリに策定、発行すべく議論を進めている

一般社団法人日本機械学会 定款

- 目的

本会は機械及び機械システムとその関連分野に関する学術技芸の進歩発達をはかり、**もって人類社会の発展と安寧及び福祉の向上に貢献**することを目的とする。

日本機械学会倫理規定

(前文)

本会会員は、真理の探究と技術の革新に挑戦し、新しい価値を創造することによって、文明と文化の発展および人類の安全、健康、福祉に貢献することを使命とする。また科学技術が地球環境と人類社会に重大な影響を与えることを認識し、技術専門職として職務を遂行するにあたって、自らの良心と良識に従う自律ある行動が、科学技術の発展と人類の福祉にとって不可欠であることを自覚し、社会から信頼と尊敬を得るために、以下に定める倫理綱領を遵守することを誓う。

日本機械学会 標準・規格センター 発電用設備規格委員会の活動方針

- 日本機械学会 発電用設備規格委員会は、1997年10月に設置されて以来、発電設備の安全性・信頼性の一層の向上の基礎となる技術規格の整備制定と不断の高度化を通じて、**国民社会及び産業社会の公益に貢献すること**を目的として活動している。

この目的に照らし、最新、最先端の技術に工学的判断を加えて産業界に必要な規格を自主的に整備制定する。その際、発電用設備の健全性に関わる、材料、設計、製造、建設、試験・検査、および運転、維持・保守、廃止までの一連の技術活動を俯瞰したうえで、技術的に思想が一貫し、バランスのとれた合理的な規格の体系的な整備制定を目指すものである。

産業界を中核とし、これに国をはじめとする規制機関、検査機関、並びに大学及び中立的な研究機関等の委員で構成される発電用設備規格委員会が策定する規格は民間規格であり、これは、国の規制活動における、技術基準の性能規定化と民間規格の活用、との方針と対をなすものである。従って、発電用設備規格は、国の権威に依拠することなく国民の信頼と支持を得るものでなければならない。

発電用設備規格が国民の信頼と支持を得るためには、規格の技術的な正当性はもとより、その策定過程において「公正」、「公平(中立)」、「公開」の原則を遵守することが基本である。これを実現すべく、発電用設備規格委員会では運営規約を明確に定め、これに忠実に従った委員会運営を行っている。

日本機械学会 標準・規格センター

発電用設備規格委員会の活動方針(つづき)

- 産業活動においては、**安全性の確保はもとより、経済的合理性の追求**も重要である。経済活動が国境を越えて世界的な規模で展開される今日においては、**我國の産業の国際的競争力の維持向上の視点**も忘れてはならない。そのためにも、**発電用設備規格は国際的整合性と技術的優位性**を目指した開発整備が重要である。

本来、技術規格には唯一の正解はない。工業技術も同様である。考えられる多くの選択肢の中から、その時々環境に応じて最適の対応を選択することを可能にすることが最良の技術規格であり、国民の安全確保と産業の発展を両立させる方法に他ならない。発電用設備規格委員会は、この目標を達成するために自由活発な議論を通じ合意形成に最善の努力を傾注することを常に要求され、それに応えなければならないと考えている。

発電用設備規格委員会は、技術審議を行う場として専門委員会を持ち、**常に最適の技術規格を用意し、発電用設備の信頼性の確保と関連産業の発展を促進**することで、**国民に貢献すること**を目標に、今後とも活動して行きたい。

まとめに代えて

- Unique Voice に関するコメント

- 日本機会学会では、組織としての目的は**定款**に、また会員個人のまもるべき規範は**倫理規定**に明確に述べられている。
- これに従って**発電設備技術委員会**等においても、**合意形成のためのルール**が定められている。
- これらのルールは基本的に「**公平、公正、公開**」を旨としており、これにこだわるあまりに**合意形成までに時間がかかる**という問題がある。
- したがって前記で示した**中長期的課題に対しては対応が可能**であるが、時間が限られた緊急の課題に対しては合意形成は難しい。
- 緊急時には技術者、研究者がそれぞれ個人の判断を迫られる場面が多いと思われる。
- したがって緊急時に適切な判断が出来るよう、日ごろから訓練しておくことが重要である。

まとめに変えて(つづき)

原子力発電プラントの耐震健全性評価

- 基準地震動(Ss)の特定(地震学)
- 津波の評価(津波学)
- 地盤の評価と入力地震動の決定(地震学+土木工学)
- 原子炉建屋の振動解析と強度評価(建築学)
- 機器・配管の強度評価(機械工学、材料工学)

- 上記に見るようにいくつかの**専門分野にまたがった評価**が必要とされ、したがって評価に際してもそれぞれの分野の専門家がみている。
- しかし専門家は自分の専門分野のところだけ責任を持っている。
- NPPのような巨大システムにおいては、**異なる専門分野のインターフェイスの部分に、見落とし(システムとしての弱点)が存在する場合が多い。**
- したがってシステム全体を横串で見通せる専門家の育成が必要である。

柳田邦男著
「想定外」の罠―大震災と原発―
文芸春秋社(1911. 9. 15)

見落とされていた「**辺縁事故論**」

(1) 辺縁事故とは―

- ① システムの中核は高い安全設計。
- ② 辺縁部において、見落とし、エラーが起こりやすく、それがシステム全体を破局に陥れる。

(2) 「辺縁事故」の形態

① 機械システムの辺縁部の設計の失敗

周辺のシステム維持装置、予備電源、配管等々

② 組織の辺縁(下請け企業等)における失敗

異なる組織間の連絡不徹底、ずさんな工程管理、未熟な作業者のエラー等々



Global Summit on the Future of Mechanical Engineering

Wednesday, April 16, 2008 – Friday, April 18, 2008
National Academy of Sciences
Washington, DC

Global Summit on the Future of Mechanical Engineering

- ・趣旨 : 20年後の技術や社会、技術者を取り巻く環境を含めた議論の中で、技術者の取るべき役割を広範囲に描き出し、技術者から社会に向けた発信を行う。
- ・開催 : 2008年4月16日(レセプション)、17 / 18日(講演会、グループ討議)
- ・会場 : National Academy of Science (Washington D.C. USA)
- ・主催 : ASME
- ・出席 : 15カ国、約200名が参加

学会 日本 (JSME : 白鳥会長、沖前財務理事、大室次長)
中国、メキシコ、ブラジル、アルゼンチン、
スペイン、チェコ、エジプト (8学会)

企業 ロッキード社、BP社 etc.

米国国内団体 National Academy of Engineering etc.

The Future of Mechanical Engineering 2008

Introduction.....	1
1. Developing Sustainably	4
2. Engineering Large and Small Scale Systems	7
3. Competitive Edge of Knowledge	9
4. Collaborative Advantage	12
5. The NanoBio Future	14
6. Regulating Innovation	17
7. Diverse Face of Engineering.....	20
8. Designing at Home.....	22
9. Engineering for the Other 90 Percent.....	25
A 2028 Future Survey of ASME Members	28
Endnotes & Sources	33

Program

Thursday, April 17, 2008

AM

Panel Session I : Grand Challenges and Great Contributions for Mechanical Engineering

The speakers in this panel session will explore the challenges and contributions that will shape the role and identity of mechanical engineers over the next 20 years.

- Charles M. Vest President, National Academy of Engineering, **Washington DC**
- GK Pillai Chairman cum Managing Director, Heavy Engineering Corporation, **India**
- Masaki Shiratori President, The Japan Society of Mechanical Engineers, **Japan**
- M. J. Prieto-Laffargue President-elect, World Federation of Engineering Organisations, **Spain**

Breakout Session I : Group A, Group B, Group C

PM

Panel Session II : Future World of Engineering--Critical Knowledge and Competencies

In the next 20 years, mechanical engineering is certain to experience continuing and surprising changes. The speakers on this panel will focus on what the mechanical engineer of 2028 will need to know and do.

- Lu Yongxiang President, Chinese Mechanical Engineering Society, **China**
- Debolah L. Grubbe Vice President - BP International, **England**
- Miguel A. Yadarola President, The Pan American Academy of Engineering, **Argentina**
- James J. Duderstadt President Emeritus , Professor at the University of **Michigan**

Breakout Session II : Group A, Group B, Group C

総括

- ・近年の社会/技術環境の急激な変化に対し工学（特に機械工学）の果たすべき役割は大きい。
- ・そのために技術者は、技術の迅速な開発と工学的な取り組みに加え、政治的な討議や公共的政策に対する意識改革が必要である。
- ・技術者は工学の果たすべき役割を認識し、教育においても貢献を高め、様々な社会や文化を越えて規範となるべき目標を定めなければならない。
- ・そのためには、様々な方式を通じた技術者の育成、学会・公共機関・学術組織・政府機関と、密接に協働することが必要である。