

大規模システムの安全設計に 関する提言

～大規模なシステムの安全性を
高めるためになすべきこと～

平成24年3月
技術同友会

目次

1. 提言における問題認識	1
2. 提言	3
参考資料1	9
参考資料2	10

大規模システム安全設計に関する提言

～大規模なシステムの安全性を高めるためになすべきこと～

1. 提言における問題認識

2011年3月11日、午後2時46分、マグニチュード9.0という、我が国の地震観測史上では最大の規模の「東北地方太平洋沖地震」¹が発生した。震源域は東北地方太平洋沖の東西約200km、南北約500kmに及び、この海底が大きく動いたために巨大な津波が発生して、東日本の太平洋岸の各地を襲った。

「東日本大震災」と呼ばれる今回の震災被害の一つの特徴は、津波による人命の損失の大きさであり²、いま一つは原子力発電所の被災とそれが原因となった放射能による広範囲の汚染である³。さらに、原子力発電所、大土木システム（防潮堤、港湾、道路、空港）、電気通信網、鉄道網など、技術をベースとして国民の生活を支えてきた大規模なシステムが被災し、その安全性についてさまざまな課題が露呈して国民に不安を与えることとなった。

特に原子力発電所の事故が、自然災害を要因とはするものの技術的な事故であることから、事故処理の混乱の印象もあいまって科学者、技術者に対する社会の信頼が著しく損なわれた。東日本大震災前に8割を超えていた「技術者の話は信頼できる」と考えていた人の割合は、震災後の調査では5割をわずかに超えるレベルにまで低下している⁴。

震災を受けて技術系のそれぞれの学会・協会が、巨大な自然災害が発生した場合の想定外力や、許容しうる構造物の破壊の形態などについて見直しを進めている。そこで個別の構造物への対応はそこにゆだね、技術同友会としては上記のような状況を踏まえ、大規模なシステムの安全をどう設計するかという視点から議論を進め、取り組むべき課題を明らかにすることとした。

なおここで「大規模システム」とはネットワークとして機能を発揮しているシステムをいい、また「安全設計」とは安全をどう構築していくか、機能

1 象気庁の正式名称は「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」である。

2 2012年3月2日現在の死者数は15,854人、行方不明者は3,276人である（警察庁資料）。「国土交通白書2011」では2011年4月11日までに確認された死者数13,135人の死因の92.4%が溺死と報告されている。

3 区域外に避難した人はピーク時11万を超えた。（衆議院総務委員会での議論から）

4 科学技術政策研究所月次調査（平成23年5月 第36回科学技術・学術審議会資料）。

をどう維持していくかという意味で用いている。

提言は、技術同友会の中に委員会を設置し、関係分野の説明を受け、委員による意見交換、会員による討議を経て取りまとめられた。(参考資料 1、2)

技術同友会 代表幹事

中原 恒雄 (中原総合研究所代表取締役)

立川 敬二 (独立行政法人宇宙航空研究開発機構理事長)

石田 寛人 (財団法人原子力安全技術センター会長)

技術同友会 大規模システム安全設計調査委員会 委員長

栢原 英郎 (社団法人日本港湾協会名誉会長)

2. 提言

提言1 要素技術の安全のみではなく、システムとしての安全を確保するための基準等の制定を急ぐこと

(1) 現状

今回の震災で巨大なシステムの全体の安全性、安定性が問題となった。一方、これまでの安全を実現するための我が国の基準・規則は、「〇〇の安全基準」「〇〇の信頼性規則」など、個々の要素技術の安全を確保することを目的として定められている。システムが小規模かつ単純なものであれば、要素技術の安全が全体の安全を保障することになるだろうが、大規模なシステムでは、要素技術の安全が必ずしも全体の安全を保障することにはならない。我が国が開発したH-IIAロケットは、その部品数が1基で30万点といわれており、当然ながら要素技術の単なる集合体ではなくなっている。また、原子炉あるいは圧力容器の安全度が如何に高くても、冷却水のシステム、あるいは両者の接続部の安全度が異なれば、圧力容器の高い安全度は意味を失う。システムの大規模化とともに、補助設備なども含めたシステム全体の安全をどう確保するかという視点がきわめて重要な課題となっている。

(2) 提言

システム全体の安全を目的とした基準、指針等を整備することが急務である。

大規模システムを扱う事業者は、国等のレベルで安全基準が定まるまでの間、自主的に安全基準を策定することが求められる。

なお、現在の安全基準の多くは新設直後の状態を対象としているが、システムとしての安全基準は、経年変化も視野に入れたシステムの経歴に応じた基準・規則とする必要がある。

(3) 付言

事業者において、企業文化やマネジメント組織を変革することも重要である。平成13年に改正された「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」の第9条(運転の安全確保)では、「列車等の運転に当たっては、係員の知識及び技術並びに運転関係の設備を総合的に活用して、その安全確保に努めなければ

ならない。」としている。政令の条文とはいえ「担当する人の知識と技術、設備を総合的に活用する」ことの重要性を明らかにしている。受け手の鉄道会社側は、例えば東日本旅客鉄道株式会社などでは「安全の確保のためには、職責をこえて一致協力しなければならない」など5項目からなる「安全綱領」を定めている⁵。

また事業者は、大規模なシステムではとかく構成する技術分野の間にヒエラルキーが形成され、安全を脅かす一因となることにも心すべきである。

提言2：大規模なシステムの全体を理解し構築できる人材、マネジメントできる人材の育成を急ぐこと

(1) 現状

今日の社会を支えている様々なシステムは、大規模化、複雑化の道をたどっており、一方でそれを支える技術の分野は、細分化、専門化の傾向が顕著である⁶。技術の細分化の潮流に影響を受けて、教育の現場においても限定された専門教育に重きが置かれるようになってきている。

東日本大震災で被災した大規模システムの復旧に関しては、システム全体への情報の不足が現場を混乱させたのではないかと思われる事例もあり、細分化、専門化された要素技術の連携や組み合わせにより構築された、大規模・複雑なシステムをマネジメントする技術と、これに対応できる技術者の育成の必要性が痛感されている。

明治12年(1879年)に設立された工学系の学協会である工学会の初代会長をつとめた古市公威博士⁷は、1914(大正3)年に開催された土木学会の第1回総会において、「余ハ極端ナル専門分業ニ反対スル者ナリ。専門分業ノ文字ニ

⁵ 原型は桜木町事故(1951年)を受けて、旧国鉄時代に制定された。全文は次のとおり。「1. 安全は輸送業務の最大の使命である。2. 安全の確保は、規程の遵守及び執務の厳正から始まり、普段の修練によって築きあげられる。3. 確認の励行と連絡の徹底は、安全の確保に最も大切である。4. (上記) 5. 疑わしいときは、最も安全と認められるみちを採らなければならない。」

⁶ 工学系の学協会の連合組織である日本工学会の構成学協会数は、明治12年(1879年)に工学会として設立された時には土木・電気・機械・造家・化学・鉱山・冶金の7分野であったが、130年余たった今日では100学協会に及んでいる。

⁷ 1886年に創設された帝国大学工科大学の初代学長、1914年に設立された土木学会会長などを歴任。

束縛セラレ萎縮スル如キハ大ニ戒ムヘキコトナリ」と述べ、当時としては大規模システムの一つの典型であった土木構造物を構築する技術者は「指揮者のようなもので、全体を見ることができないものでなくてはならない」という趣旨のことを述べている。今日この視点が大規模システムを扱う全ての技術者に求められている。

(2) 提言

総合的な能力を持った人材⁸を育成するためには、大学におけるシステム工学の充実強化、大学院と企業が連携して院生レベルからこのような人材を育成する仕組みの構築が急務である。

事業者は、システムエンジニアリングの部門の充実強化を進めるほか、異なる専門分野の技術者が相互に意見交換をする場、協働して技術開発をする機会を設けるなどして、異分野の専門家とともにシステム全体を理解し、そのマネジメントを行い得る人材の育成につとめることが求められる。

(3) 付言

東海道新幹線の開発期に、「時速 200km 走行の旅客列車の実現」という目標の下、施設、電気、機械等異なる分野の技術者が合同チームを組み、一つの課題を解決していったと伝えられている。高い信頼性を持った新幹線のシステムが生み出された一つの要因とも考えられる。また、国際宇宙ステーションのフライトディレクターは、シミュレーターによる訓練の際に 1,800 に近いアクシデントのケースを訓練し、大規模なシステムの全体を理解し運用できるように訓練される。

なお、技術同友会としては、巨大複雑系社会経済システムを担う人材育成のための方策について、2012 年度に検討することを予定している。

⁸ 複雑化、大規模化するシステムを高い信頼性・安全性をもって設計・製作・運転、さらにはメンテナンスを牽引する人材

提言3：他の大規模システムの安全性の前提となっている大規模システムの安全の確保(システムの連携)

(1) 現状

多くのシステムの非常用電源は、外部電源の途絶が短期間で解消することあるいは非常用電源の燃料が供給され続けることが、長期の対応の前提となっている。

東日本大震災では、停電が長期化したうえ、港湾施設の被災、タンクローリーの通行制限など思わぬトラブルにより非常用電源の燃料切れが生じ、NTTの通信システムの中継所、基地局などの機能が停止して通話不能の状態が続いた。

沖合 2-30kmに設置され、津波の第1波をとらえたGPS波浪計⁹のデータは、気象庁の津波予報の切り替えに活用されたが、津波が陸に到達した段階で外部電源が止まり、さらに通信網が途絶したため、後続する津波の状況を知る手がかりを失った。基地局に記録されていたデータは後に回収され、津波の正確な実態を分析することには有効であったが、リアルタイムの情報が把握できなくなったことが惜まれる。

東北新幹線は営業時間中にもかかわらず、営業線の脱線は起こらず大規模な事故には至らなかった。阪神淡路大震災、新潟県中越地震等の経験から高架橋の補強、列車の逸脱防止装置(脱線防止装置)の装備等、進めていた耐震化が効果を発揮したといえるが、地震時の「早期地震検知システム」が順調に作動したことも大きな要因である。このシステムは地震計が検知した初期の揺れから判断して送電を停止する仕組みとなっており、通信が存続していることが前提となっている。

(2) 提言

大規模システムは連携し、相互に依存してその機能が維持されている。このため、他のシステムの存続の前提となる大規模システムについては、特段の安定性が求められ、中央防災会議等でシステムの連携を図れるよう体制を強化することが急務である。

さらに、関係者の協議会の設置などにより連携を強化しておくこと、担当

⁹ 国土交通省が沿岸部の波浪予測のために設置を進めており、平成23年10月時点で太平洋側に12基、日本海側に3基設置されている。

者の強い使命感と自覚を涵養しておくことも必要である。

(3) 付言

災害時の通信の確保のためには通信衛星の利用が状況を格段に改善するが、通信衛星を打ち上げこれを運用することは民間企業には負担が大きすぎる。このような国民の安全、地域の安全、国の安全につながる基本的な装置については「民」を超えた対応も必要である。

提言4：レベルを超える外部擾乱が発生したときに起こりうる事象についての想定とその開示

(1) 現状

システムあるいはその構成要素である構造物の設計に際しては、当然その安全・安定の前提となる外力、防潮壁であれば発生する潮位（波高）や波力等、設計の際に外力を想定する。想定する外力は無限とはいかず、既往最大の数値あるいは50年や30年等の生起確率を想定するなど、合理的と判断される条件の下に設定する。しかし設計外力がいったん決まれば、設計者は想定した外力を超えたときのことを考えることはほとんどなく、いわばそこで「思考停止」の状態になる。

(2) 提言

多くの大規模システムは、国民の生活の最も基本的なインフラである。その重要性を考える時、事業者は設計外力を超えたときに起こる事象についてあらかじめシミュレーションを実施すること、さらにその結果を開示することが求められる。

またこの結果は、中央防災会議等により関係する分野に、地方公共団体により関係する地域へ、徹底して周知を図ることが望まれる。

(3) 付言

システムに限界があることを明らかにすることは徒な不安を招くという意見もあるが、結果の開示は影響をこうむる者がそれぞれの分野で対応策を準備することを促し、安全度が高まる。さらに、事業者にとってもこのシミュ

レーションは、よりよいシステムの設計につながるのみならず、情報の開示は自らの安全に関わることという緊張感、地域をよく知っているという利点などから、関係者から事業者の気付かない知恵が提供されることも期待できる。

多くの製造品では「取扱説明書」が用意されており、設計時に想定していない使用方法については注意を促している。大規模システムについては類似の視点から、限界を超えた場合に起こりうる状況を設計者が想定した、いわば「インフラの取扱説明書」¹⁰といったものが有効であろう。

¹⁰ 「インフラの取扱説明書」は、「インフラの計画・設計者が、施設の使い方と廃棄までを考慮に入れるようにするために必要」という視点から従来から主張されていた（古木守靖。2008年7月22日セメント新聞）。震災後は、「影響の事前開示」という視点が加わっている。

参考資料 1 技術同友会について

技術同友会は、科学技術に関わる産・官・学出身の会員からなる任意団体で 1972 年に設立された。

本会では、広く科学技術及び科学技術に関連する諸問題に対し、深い関心を持つ人々が、真に人間福祉に貢献する科学技術の進展に関する対策を求め、かつその実現を目指して次のような活動を行っている

- (1) 会員相互の情報交換と協力の場の提供
- (2) 科学技術政策及び科学技術を基本とする社会経済政策等に関する提言
- (3) 時代の要請に応える科学技術のあり方についての調査研究
- (4) 科学技術に関連する諸問題についての討議
- (5) 科学技術に関する国際協力

現在の代表幹事は次のとおりである。

中原 恒雄（中原総合研究所代表取締役）
立川 敬二（独立行政法人宇宙航空研究開発機構理事長）
石田 寛人（財団法人原子力安全技術センター会長）

会員総数 86名（平成 24 年 3 月現在）

参考資料2 大規模システム安全設計調査委員会について

(1) 設置の趣旨

東日本大震災により、これまで構築されてきた原子力発電所、電気通信網、大土木システム（防潮堤、港湾、道路、空港）、鉄道網など、大規模システムの安全性についてさまざまな課題が露呈した。

これらのインフラ的大規模システムの安全設計について問題点を洗い出し、それらの対応策を検討し提言する。

更に、これらの大規模システムについては、我が国の急速な成長と、更にはネットワーキングの拡大(各個体間のつながりの強化)に伴って、従来の小規模孤立状態の技術が単に大型化したという可能性があり、このため、巨大システムとしてのマネジメントの思想、技術がシステムの巨大化に伴っていない恐れがある。

これらの課題について「想定外」といわれてきた外部擾乱へどのように対応するか、更に巨大システムの危機対応のあり方について検討し、提言する。

(2) 検討における前提

- 大規模システムはシステム化されているものを対象とし、網に関するシステムを中心とする。
原子力発電所も網の1つと考えることとする。
- 安全設計という表現には単なる設計ではなく、システム構築に伴う工事、運用まで包含した解釈とする。

(3) 委員会

委員長 栢原 英郎	社団法人日本港湾協会名誉会長
委員 秋田 雄志	公益財団法人鉄道総合技術研究所技術顧問
秋元 勇巳	三菱マテリアル株式会社名誉顧問
新井 洋一	特定非営利活動法人リサイクルソリューション 理事長
石澤 應彦	元社団法人日本鉄道車輛工業会理事長
石田 寛人	財団法人原子力安全技術センター会長
伊藤 源嗣	株式会社 IHI 相談役
大石 久和	財団法人国土技術研究センター理事長
佐藤 眞住	株式会社神戸製鋼所顧問
島田 博文	日本コムシス株式会社相談役
高島 征二	株式会社協和エクシオ代表取締役会長
立川 敬二	独立行政法人宇宙航空研究開発機構理事長
種市 健	東京電力株式会社顧問
柘植 綾夫	芝浦工業大学学長
中原 恒雄	中原総合研究所代表取締役
庭野 征夫	株式会社東芝常任顧問
野村 淳二	パナソニック株式会社代表取締役専務
野呂 一幸	大成建設株式会社常務設計本部長
藤岡 宏衛	社団法人科学技術と経済の会顧問
松田 憲和	社団法人日本メタル経済研究所理事長
村田 進	パシフィックコンサルタンツ株式会社特別顧問
山本 卓朗	鉄建建設株式会社特別顧問

(4) 審議経過

平成23年9月15日 9月例会において「大規模システムの安全設計委員会」の発足が承認され、以降以下の様な審議を行った。

	話題提供者	テーマ
第1回 H23. 9. 21	山本 卓朗氏 鉄建建設株式会社特別顧問	土木構造物の安全設計 ①委員会の目的等の説明、討議 ②土木学会における社会安全への取り組み
第2回 H23. 10. 6	数土 幸夫氏 財団法人原子力安全技術センター理事長 石田 寛人氏 財団法人 原子力安全技術センター会長	原子力発電の安全設計 ・福島第一原発事故から、安全設計上、学ぶべきもの
第3回 H23. 11. 16	米澤 朗氏 国土交通省鉄道局技術審議官 細川明良氏 東日本旅客鉄道株式会社執行役員・新幹線運行本部本部長	鉄道における安全設計 ①鉄道システムの安全確保にかかる国の取り組み ②新幹線システムの安全マネジメントについて
第4回 H23. 12. 16	岡村 潔氏 株式会社東芝執行役常務電力システム社原子力事業部長	原子力発電における安全設計 ・原子力発電プラントの安全設計高度化と開発動向
第5回 H24. 1. 16	宇治則孝氏 日本電信電話株式会社代表取締役副社長	情報通信ネットワークにおける安全設計 ・「つなぎ続ける」通信ネットワークのこれまでとこれから
第6回 H24. 2. 16	提言について	

本資料の内容の転載を希望される場合は、
技術同友会事務局までご相談ください。

技 術 同 友 会 事 務 局

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-3-1
飯田橋三笠ビル
(社) 科学技術と経済の会気付
電 話 (03) 3263-5501