

今後のインフラ・設備の診断について

株式会社NTTファシリティーズ総合研究所
EHS&S研究センター 研究アドバイザー
尾形 努

団塊世代の大量退職、若年層労働人口の減少という構造的な人手不足⁽¹⁾から、今後現場で保全業務に携わる人員の減少とともに、技術・ノウハウの継承が困難となり、放置すれば、インフラ、産業用機械・設備などの予防保全が十分に実施されなくなる恐れが出てきている。本コラムでは、国のインフラの高齢化問題に対する政府の施策と課題から、主に診断技術の研究開発が重要になってきていることを述べ、さらに産業用機械・設備では、機器間通信（M2M）、クラウドやビッグデータ解析を適用した故障予測と健全性管理に関わる診断技術がすでに商業化されつつあること、および海外の事例として、PHM Society（Prognostics and Health Management Society）⁽²⁾（筆者訳：故障予測と健全性管理学会）（以下PHM学会）の国際会議で公表された論文を紹介し、インフラ・設備の診断について、今後の方向性を示す。

国土交通省は、インフラの高齢化に対処するため、また首都直下地震や南海トラフ巨大地震等の大規模災害に備えるため、平成25年11月に「インフラ長寿命化基本計画」（以下「基本計画」）を公表した⁽³⁾。さらに、上記「基本計画」に基づき、国土交通省が管理・所管するあらゆるインフラの維持管理・更新等を着実に推進するための中長期的な取り組みの方向性を明らかにする計画として、平成26年5月には「国土交通省 インフラ長寿命化計画（行動計画）」（以下「行動計画」）を策定・公表している⁽⁴⁾。なお、「基本計画」、「行動計画」の策定は、平成24年12月2日に発生した「中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故」⁽⁵⁾が契機となって、国土交通省が平成25年を「社会資本メンテナンス元年」として取り組みを進めてきた⁽⁶⁾ことによる。

以下、主に「基本計画」からの抜粋である。

「基本計画」では、「目指すべき姿」として、2020年頃、2030年頃、それぞれの目標を掲げ、2030年には、「国内の重要インフラ・老朽インフラの全てでセンサー、ロボット、非破壊検査技術等を活用した高度で効率的な点検・補修を実施」し、「老朽化に起因する重要インフラの重大事故をゼロ」にすることを目指している。そして、国や地方公共団体の各機関（以下「各インフラを管理・所管する者」）に対し、「基本計画」に基づき「行動計画」を策定し、さらに各インフラの管理者は、「行動計画」に基づき、「個別施設毎の長寿命化計画」（以下「個別施設計画」）を策定することを促している。また、「基本計画」では、点検・補修等のセンサー、ロボット等の研究開発、市場の整備、国際展開等の取り組みを通じて、「メンテナンス産業」において、世界のフロントランナーとしての地

位を築き、我が国のインフラビジネスの競争力強化を実現するとしている。

これを実現していく上での課題として、①国・地方を通じ職員定数の削減が進む中、地方公共団体の中には、維持管理を担当する技術職員が不在、もしくは不足している団体も存在する、②インフラ長寿命化に資する新技術の研究開発・実証やその導入も重要であり、国として戦略的に推進していく必要がある、等を挙げ、解決に向けた方向性も提示している。

課題①の人手不足については、地方公共団体だけでなく、実際の維持管理等の担い手である地域の建設産業の疲弊や、若年入職者の減少もあり、ノウハウや技術の継承に支障が生じ、将来の施工力の低下が懸念されている⁽³⁾。

商工中金、調査部の鈴木潤氏は、人手不足の原因の一つに、若年層の労働人口不足と団塊世代の大量退職が背景にあることを説明しており⁽¹⁾、これが課題①の人手不足の問題を継続的に深刻にしている要因であることが分かる。

国、地方公共団体の技術職員、およびその担い手である建設業界の人員不足を補うためにも、上記課題②のインフラ長寿命化に資する新技術、特に、センサーやロボット、非破壊検査技術等、劣化や損傷状況等の様々な情報を把握・蓄積・活用する診断技術を研究開発し、導入する⁽³⁾ことが極めて重要になってくる。このような診断技術をシステム化することにより、人手不足を補完するだけでなく、個々人が保有していた技術・ノウハウを蓄積・継承していくことが容易になる。

一方、国土交通省、社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会では、産業競争力強化という視点から、「インフラ長寿命化技術」をまとめ、インフラ健全性評価・劣化予測のために、体系的に研究開発を推進することを提言している⁽⁷⁾⁽⁸⁾。「インフラ長寿命化技術」では、具体的に次の内容がテーマとして挙げている。

- (i) インフラ健全性評価・劣化予測のための体系的な研究開発の推進
- (ii) ニーズとシーズをマッチングさせたモニタリング技術基盤の構築
- (iii) モニタリング要素技術の開発推進
- (iv) 長寿命化とライフサイクルコスト低減を目指した補修技術の開発推進
- (v) 基幹産業インフラの長寿命化を目指した検査・補修技術の開発推進
- (vi) インフラ維持管理へのロボット技術の導入推進
- (vii) アセットマネジメントと民間活力の導入推進
- (viii) 産学官の連携、産業界の業種横断的な協働体制の構築

産業用機械・設備故障の予兆診断技術という視点でみると、以下のように民間企業がかなり先行して開発、あるいは商業化を行っている。

- (a) 日立パワーソリューションズが「予兆診断システム」を開発（日経産業新聞：2013年6月17日）⁽⁹⁾。
- (b) 日本IBMが、工場の設備などの故障を事前に予測できるシステムを開発（日本経済新聞：2013年8月17日）⁽¹⁰⁾。
- (c) 日立製作所が、工場の大型機械の故障の兆しをアラームで検知し、契約した企業に知らせるサービスを開始（日経産業新聞：2013年10月18日）⁽¹¹⁾。
- (d) スイスの重電大手ABBが、産業用ロボットの稼働データ分析から、故障が起きる前に部品を交換するサービスを開始（日経産業新聞：2013年11月22日）⁽¹²⁾。
- (e) NECが、工場や発電所など大規模プラントの「故障の兆し」をいち早く見つけるシステムを開発（日本経済新聞：2014年1月1日）⁽¹³⁾。
- (f) NECは、下水道を走行するロボットが、管内の不具合を自動検知するシステムを開発（日経産業新聞：2014年2月17日）⁽¹⁴⁾。
- (g) GEが、機器からデータを収集し、利用状況を分析し、業務の効率改善などを提案するサービスを開始（日本経済新聞：2014年4月23日）⁽¹⁵⁾。
- (h) 富士通システムズ・イーストが、ビルの設備点検などに特化したクラウドサービスを展開。タブレット端末で入力された点検記録はクラウドに蓄積（日経産業新聞：2014年4月1日）⁽¹⁶⁾。
- (i) NECは、中国電力島根原子力発電所2号機に、故障の予兆を発見するシステムを納入し、実証実験を始める（日経産業新聞：2014年5月26日）⁽¹⁷⁾。
- (j) 日立ソリューションズが、工場内の機械や設備などを遠隔で監視・制御する「M2Mリモート・ファクトリー・マネジャー」の提供を始める（日経産業新聞：2014年5月19日）⁽¹⁸⁾。
- (k) 板金機械大手のアマダは、顧客に納めた製造設備の部品交換や故障防止の迅速化のため、出先（動くオフィス）にて、検索により同様の故障がないか確認する（日経産業新聞：2014年5月8日）⁽¹⁹⁾。
- (l) 日立製作所は、工場プラントや設備などの診断・監視と保全管理を担う、クラウドサービス「ドクタークラウド」を開始した（日本経済新聞：2014年6月25日）⁽²⁰⁾。
- (m) IHIは、発電用ガスタービンの振動や温度など300種類のデータをきめ細かく収集。異常検知だけでなく、原因の診断まで踏み込む（日本経済新聞：2014年7月28日）⁽²¹⁾。

なお、上記診断技術では、機器間通信（M2M）、クラウドにより、データを収集・蓄積し、これらのデータをビッグデータとして解析するという手法が一般的になりつつある。

さらに、全量買い取り制度などで導入が進む太陽光発電システムにおいても、以下のように故障予測などの診断技術の開発が行われ、また異常の早期発見サービスなどが展開されている。

- ① 日立アドバンスデジタルが、太陽光発電のパネルごとに電圧を測る装置を取り付け、遠隔地から異常がないか監視するシステムを発売（日経産業新聞：2013年6月5日）⁽²²⁾。
- ② 大分デバイステクノロジーが、太陽光発電システムのパワーコンディショナーの変換効率を測定することにより、異常を発見する装置を開発（日経産業新聞：2013年7月30日）⁽²³⁾。
- ③ システム・ジェイディーが、メガソーラー向けに、パネル不具合時に「バイパスダイオード」の作動状況を測定し、故障箇所や断線の有無を判断する自動監視システムを開発（日経産業新聞：2013年10月21日）⁽²⁴⁾。
- ④ NTTファシリティーズが、発電性能を1日単位で診断し、故障や不具合を調べられる発電診断システムを搭載したメガソーラーを岐阜県恵那市に設置（日経産業新聞：2014年1月1日）⁽²⁵⁾。
- ⑤ 三井化学が、千葉県の工場内に太陽光発電所の実証設備を完成。発電を監視する独自システムも導入。異常パネルを素早く発見する技術の開発につなげる（日経産業新聞：2014年4月22日）⁽²⁶⁾。
- ⑥ シャープが、作業員が屋根から1枚ずつパネルを取り外して検査する必要がなく、住宅用太陽光パネルの故障を効率よく発見するアフターサービスを開始（日本経済新聞：2014年5月9日）⁽²⁷⁾。
- ⑦ 富士通が太陽光発電の遠隔監視サービスに参入。屋根に設置した太陽光パネルのどのあたりのパネルに異常があるかを絞り込めるようきめ細かく発電量を検知し、異常発生時には顧客にメールで通知（日本経済新聞：2014年6月3日）⁽²⁸⁾。

以上のように、国、地方公共団体のインフラに関しては、診断技術の研究開発が開始された段階であるが、産業用機械・設備に関しては、かなり先行して行われており、今後、インフラに関する診断技術は、民間技術を応用するという方向で進んでいくであろう。

ここで、本分野における海外の動きの一例として、PHM学会⁽²⁾について紹介する。

PHM学会は、次の3つの基本的な考えのもと、2009年、PHMの発展に寄与するための非営利団体として設立された。

- ・PHMの知識データベースへ自由かつ無制限なアクセスを提供すること
- ・PHMにおける学際的かつ国際的な連携を推進すること
- ・エンジニアリング分野としてのPHMの発展をリードすること

PHM学会の旗艦イベントは、PHM学会の毎年の国際会議であり、また、国際ジャーナル（IJPHM）も出版している。なお、会議中にチュートリアル、ワークショップ、PHMデータ解析競技会、実践的な研修が行われている。

2009年から開催されているPHM学会の国際会議の中から、次の論文を紹介する。

- 「Autonomous Prognostics and Health Management (APHM)」⁽²⁹⁾（筆者訳：自律型の故障予測と健全性管理）

この論文では、無人飛行機（UAV）に自律型PHMの概念を、設計段階から取り入れることによって、運用中にエンジンの健全性確認、電力管理などの診断／故障予測が、人間の乗務員と等価な推論能力によって行われ、自律的に是正アクションを決定し、実行されることを説明している。

- 「Commercialization of Prognostics Systems Leveraging Commercial Off-The-Shelf Instrumentation, Analysis, and Data Base Technologies」⁽³⁰⁾（筆者訳：民生の計装、解析、データベース技術を活用した故障予測システムの商業化）

この論文では、民生品利用技術と柔軟性のあるモジュール方式の構成、フレームワークによって、広範囲な機械、産業、そして応用分野に使える、故障予測システムを開発し、風力発電システム、原子力発電への適用例を示し、市場に出すことができるレベルであることを説明している。

- 「Symbolic Dynamics and Analysis of Time Series Data for Diagnostics of a dc-dc Forward Converter」⁽³¹⁾（筆者訳：DC-DCフォワードコンバータの診断を行うための時系列データの記号力学と解析）

この論文では、時系列データに着目したDC-DCコンバータの劣化診断技術を提案している。この技術の特徴は、時系列データを統計的に解析しやすくするために、データを記号列に変換する記号力学を適用していることである。具体的には、確度のよい劣化診断を実現するためには、DC-DCコンバータの変換効率に着目し、その時系列的な傾向をみるのが有効であることを説明している。

- 「Diagnostics of Mechanical Faults in Power Transformers – Vibration Sensor Network Design under Vibration Uncertainty」⁽³²⁾（筆者訳：電力変圧器の機械的な故障の診断－振動の不確実性のもとでの振動センサネットワークの設計）

この論文では、電力変圧器の機械的故障を検出するため、振動信号に着目し、センサー数や据え付け位置を調整することによって、基本周波数信号が増加するだけでなく、巻線の機械的な故障であることが予想でき、2倍高調波が増加しているなら、コアの機械的な故障であることが予想され、そして、基本周波数、第2高調波が増加している時は、両方の不良が発生していることが予想できることを説明している。

これまで、本コラムで述べてきたことをまとめると以下のようになる。

- (1) 国、地方公共団体のインフラの長寿命化計画は、まだ途に就いたばかりであるが、診断技術の研究開発の成果利用が急がれる。そして、この研究開発成果によって、インフラ長寿命化に携わる人手不足、技術・ノウハウの継承の問題を改善できる可能性がある。
- (2) 産業用機械・設備の診断技術の商業化は、上記インフラに関するより、先行しており、国などのインフラに対する診断技術は、産業用機械・設備の診断技術を応用することになる。なお、産業用の診断技術では、機器間通信M2M、クラウドによって、収集、蓄積したデータをビッグデータとして解析するという手法が一般的になりつつある。
- (3) 海外では、PHM学会が、PHMの学際的かつ国際的な連携を推進しており、2009年から毎年国際会議が開催されている。
- (4) 上記、国際会議では、例えば、無人飛行機を対象に故障予測、健全性管理を自律的、自動的に行うことができるPHMシステムの概念と適用例が報告されており、また民生品を使って故障診断システムを構築できるとの報告例もあり、今後のインフラ・設備診断の方向性を示唆している。

最後に、以下に、今後のインフラ・設備診断の方向性を提示する。

団塊世代の大量退職、若年層の労働人口の減少により、インフラや産業用機械・設備の保全に携わる人員が不足するだけでなく、これを放置すれば、保全に関わる技術・ノウハウの継承も困難になっていくであろう。このため、インフラ、産業用機械・設備の故障予測と健全性管理に関わる診断技術の確立によって、人員不足と技術・ノウハウの継承の問題を解決していく必要がある。そして、無人飛行機で試行している⁽²⁹⁾ように、近い将来、他の分野でも「診断技術」を「システム化」し、故障予測、原因推定、是正アクションの決定までを自律的、自動的に行うシステムが出現することになるだろう。さらに、そのシステムの決定に従い、自動運転車⁽³³⁾に乗ったロボットが是正アクションを実施することになれば、人間の役割は、それによって実現した安全性を享受することに専念すればよいことになる。ただし、本システムの健全性をチェックする少数の人員が必要であり、

インフラ・設備診断の技術・ノウハウは、これらの人達の日常の努力により継承されていくことになろう。

【参考引用文献】

- (1) 商工中金 調査部 鈴木潤：情報メモ NO. 26-40「人手不足の真相～労働市場に押し寄せる人口減少の波濤～」2014年7月15日
http://www.shokochukin.co.jp/report/pdf/cb_20140722_01.pdf
- (2) PHM Society
<http://www.phmsociety.org/>
- (3) 国土交通省：「インフラ長寿命化基本計画（平成25年11月29日）」
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/sosei_point_mn_000010.html
- (4) 国土交通省：「国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）（平成26年5月21日）」
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/sosei_point_mn_000011.html
- (5) 国土交通省：「トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会報告書」2013年6月18日
http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/tunnel/pdf/130618_houkoku.pdf
- (6) NTTファシリティーズ総研 建築FM技術本部 酒井修：「新たな「国土のグランドデザイン」と社会資本の維持管理・更新」年報 NTTファシリティーズ総研レポート No. 25 2014年6月 pp.2~7
http://www.ntt-fsoken.co.jp/research/pdf/2014_01.pdf
- (7) 国土交通省：社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会 第3回（平成26年3月20日（金） 配布資料 参考資料2「産業競争力懇談会 2013年度プロジェクト 最終報告 インフラ長寿命化技術」産業競争力懇親会 COCN 2014年3月3日
<http://www.mlit.go.jp/common/001033501.pdf>
- (8) 国土交通省：社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会 第3回（平成26年3月20日（金） 配布資料 参考資料2-1「第3回社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会資料『インフラ長寿命化技術』（2013年度推進テーマ）」産業競争力懇親会 COCN 2014年3月20日
<http://www.mlit.go.jp/common/001031984.pdf>
- (9) 日経産業新聞：「テクノフォーカス 機械・設備故障の予兆診断 日立パワーソリューションズ データ群分析、高精度」2013年6月17日
- (10) 日本経済新聞：「ビッグデータで工場保守 日本IBM 設備故障を予測」2013年8月17日
- (11) 日経産業新聞：「大型機械、クラウド監視 日立 M2Mで稼働状況検知」2013年10月18日
- (12) 日経産業新聞：「産業用ロボ 遠隔で故障予測 スイスABB 稼働履歴から部品交換提案 日本でサービス展開」2013年11月22日
- (13) 日本経済新聞：「機器間通信で故障発見 ビッグデータ生かす 分析専門家 育成急

ぐ」2014年1月1日

- (14) 日経産業新聞：「下水道の設備 効率管理 NEC 劣化を自動検知・補修」2014年2月17日
- (15) 日本経済新聞：「機器間通信のデータ分析 GE、日本などで外販 ソフトバンクと」2014年4月23日
- (16) 日経産業新聞：「ビル設備点検クラウド 富士通システムズ・イースト タブレットにフロア地図」2014年4月1日
- (17) 日経産業新聞：「故障の予兆 発見システム 島根原発2号機に NEC実験」2014年5月26日
- (18) 日経産業新聞：「日立ソリューションズ 設備を遠隔監視・制御 M2M活用のシステム」2014年5月19日
- (19) 日経産業新聞：「ITこう使う アマダ、機械の故障時期 予測 整備履歴 動くオフィスで M2M、稼働率向上に一役」2014年5月8日
- (20) 日本経済新聞：「テクノ フォーカス 日立 設備診断クラウド 省エネ、遠隔でデータ分析」2014年6月25日
- (21) 日経産業新聞：「ガスタービンの故障予測 IHI、センサーで温度など300項目収集 原因診断、稼働率97.5%」2014年7月28日
- (22) 日経産業新聞：「太陽光発電 パネル単位で故障検知 日立アドバンスト、遠隔監視」2013年6月5日
- (23) 日経産業新聞：「パソコン故障 判別お任せ 大分デバイステクノロジーが装置 遠隔検査を来年提供」2013年7月30日
- (24) 日経産業新聞：「メガソーラー自動監視 故障パネル・断線を特定 システム・ジェイディー 発電量低下に素早く対応」2013年10月21日
- (25) 日経産業新聞：「NTT系、メガソーラー 自ら診断頻繁に 岐阜に独自型 15分ごと通信」2014年1月1日
- (26) 日経産業新聞：「太陽光の実証設備完成 三井化学、診断技術開発へ」2014年4月22日
- (27) 日本経済新聞：「太陽光パネル 故障すぐ発見 シャープ タブレット活用 満足度高め顧客獲得」2014年5月9日
- (28) 日本経済新聞：「太陽光発電を遠隔監視 富士通、まず賃貸住宅向け」2014年6月3日
- (29) Jacek Stecki, Joshua Cross, Chris Stecki and Andrew Lucas: 「Autonomous Prognostics and Health Management (APHM)」 Proceedings of First European Conference of the Prognostics and Health Management Society 2012 PHM Society pp.34~41
- (30) Preston Johnson: 「Commercialization of Prognostics Systems Leveraging

Commercial Off-The-Shelf Instrumentation, Analysis, and Data Base Technologies」
Proceedings of The Annual Conference of the Prognostics and Health Management
Society 2011 PHM Society pp.114~122

(31) Gregory M. Bower¹, Jeffrey Mayer¹, and Karl Reichard: 「Symbolic Dynamics and
Analysis of Time Series Data for Diagnostics of a dc-dc Forward Converter」
Proceedings of The Annual Conference of the Prognostics and Health Management
Society 2011 PHM Society pp.469~478

(32) Joung Taek Yoon, Kyung Min Park, Byeng D. Youn, and Wook-Ryun Lee: 「Diagnostics
of Mechanical Faults in Power Transformers - Vibration Sensor Network Design
under Vibration Uncertainty」 Proceedings of European Conference of the
Prognostics and Health Management Society 2014 PHM Society pp.425~431

(33) 国土交通省 : オートパイロットシステムに関する検討会 「オートパイロットシ
ステムの実現に向けて 中間とりまとめ」 2013年10月

<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/pdf/torimatome/honbun.pdf>

(2014年8月20日 尾形 努)

※掲載された論文・コラムなどの著作権は株式会社 NTT ファシリティーズ総合研究所にあります。これらの情報を無断で複製・転載することを禁止いたします。また、論文・コラムなどの内容を根拠として、自社事業や研究・実験等へ適用・展開を行った場合の結果・影響に対しては、いかなる責任を負うものでもありません。

ご利用になりたい場合は、当社ホームページの「お問い合わせ」ページよりご連絡・ご相談ください。