

公開資料

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
実装活動終了報告書

研究開発成果実装支援プログラム

「高層ビル耐震診断に基づく

帰宅困難者行動支援システムの社会実装」

採択年度 平成25年度

実装活動期間 平成25年10月～平成28年9月

実装責任者 三田 彰

(慶應義塾大学 教授)

1. プロジェクト名、目標、実装活動要約

(1) 実装活動プロジェクト名

「高層ビル耐震診断に基づく帰宅困難者行動支援システムの社会実装」

(2) 最終目標

今後、高い確率で発生する可能性がある南海トラフ巨大地震や首都直下型地震による大規模震災発生直後に、帰宅困難者を収容する可能性があるすべての大規模高層ビル（大都市圏）に健全性を評価するための構造ヘルスマニタリングシステムを設置し、瞬時に耐震診断を行って安全性を確認し、帰宅困難者の行動支援を行う。

同時に、帰宅困難者を優先的に受け入れる避難拠点を示した防災マップの作成等の活動を行う。

(3) 実装支援期間終了後の目標（到達点）

新宿駅西口に位置する大規模高層ビル施設に、「新宿駅周辺防災対策協議会 西口部会」（部会長：久田嘉章工学院大学教授）の協力を得て、高層ビル耐震診断に基づく帰宅困難者行動支援システム（構造ヘルスマニタリングシステム）を実装する。同時に、自治体、鉄道会社等と協力し、本実装で得られた耐震診断情報を防災マップ等に反映させる。また平成28年度の防災訓練で、デモの実施を目指す。

更に、全国の大規模高層ビルへの普及を目指すために、必要となる課題抽出を行う。

(4) 実装活動実績（要約）

実装先である新宿駅周辺防災対策協議会西口部会と、実装組織である慶應義塾大学三田研究室、構造ヘルスマニタリングコンソーシアム及び協力組織である富士電機株式会社、株式会社三菱総合研究所との間で立ち上げた帰宅困難者行動支援システム協議会において、関係者の調整を行いながら実装対象建物の選定と実装を行った。主な実績は次の通り。

- ・ 西新宿地区の工学院大学新宿校舎高層棟（地上29階）、エステック情報ビル（地上28階）、新宿アイランドタワー（地上44階）、東京医科大学病院（地上19階）、新宿オークタワー（地上38階）、モード学園コクーンタワー（地上50階）の6棟に構造ヘルスマニタリングシステムを実装した。
- ・ 他地域への展開として、損保ジャパン日本興亜ビルマネジメント日本橋ビル（地上11階）および東北工業大学10号館（地上8階）に構造ヘルスマニタリングシステムを設置した。
- ・ 平成27年11月2日および平成28年9月30日に「建物・エリアモニタリングと災害時対応力向上シンポジウム」を開催した。
- ・ 平成28年度に予定していた防災訓練でのデモを前倒しして、平成26年11月に工学院大学新宿校高層棟およびエステック情報ビルにおいて実施し、課題を明らかにした。
- ・ 複数の国際会議および海外でのサマースクールにおいて成果を発表した。そのうちの一つは

基調講演であった。

- 平成27年12月17日朝のNHKニュースにおいてモード学園コクーンタワーを例題として新宿駅西口での取り組みについて紹介された。
- 平成28年1月22日に開催された建築学会シンポジウム「東日本大震災から5年、建築振動工学の到達点と残された課題」において、構造ヘルスマニタリング技術および本プロジェクトの成果について報告した。
- 平成28年2月にパシフィコ横浜において開催された第7回振動技術展において基調講演を行い、振動からわかる建物の健全性と本プロジェクトの紹介を行った。
- 平成28年6月に博多で開催されたビジネスショウ&エコフェア2016におけるセミナーにおいて本プロジェクトの紹介を行った。

2. 実装活動の計画と内容

(1) 全体計画

項目	平成25年度(6ヶ月)	平成26年度	平成27年度	平成28年度(6ヶ月)
協議会運営	協議会立上げ → 実装ビル選定 (2/3棟) →	防災マップ検討 → 避難経路検討 → 実装ビル選定 (4/3棟) →		拠点形成の提言 →
実装活動	センサ等準備 (2/3棟) →	センサ等準備 (4/3棟) → 実装検証 (2/3棟) 健全性システム構築	実装検証 (6棟) 情報発信 課題抽出(全国展開 2棟)	
まとめ				まとめ →

(2) 各年度の実装活動の具体的内容

実装開始時点での目標は以下の通り。

「今後、高い確率で発生する可能性がある南海トラフ巨大地震や首都直下型地震による大規模震災発生直後に、帰宅困難者を収容する可能性があるすべての大規模高層ビル（大都市圏）に健全性を評価するための構造ヘルスマニタリングシステムを設置し、瞬時に耐震診断を行って安全性

を確認し、帰宅困難者の行動支援を行う。同時に、帰宅困難者を優先的に受け入れる避難拠点を示した防災マップの作成等の活動を行う。」

各年度の当初の活動計画は以下のようであった。

【平成25年度】

平成25年度は、実装先である新宿駅周辺防災対策協議会 西口部会と、実装組織である慶應義塾大学三田研究室、構造ヘルスマonitoringコンソーシアム及び協力組織である富士電機株式会社、株式会社三菱総合研究所との間で本実装活動の狙いおよび役割分担の確認を行う。

その上で、上記組織と新宿区、新宿駅各鉄道会社等の協力を得て、高層ビル耐震診断に基づく帰宅困難者行動支援システム協議会（仮称）を立ち上げる。定期的に協議会の会合を重ね、実装に理解を得ることができる見込みのビルの中から、実装効果が最大になるように平成26年度に実装するビルを選定する（平成25年12月末）。同時に、高感度加速度センサ、健全性診断ソフトウェア、電源バックアップシステム（UPS電源）、ローカルエリアネットワーク、クラウドデータベースを構造ヘルスマonitoringシステムとして準備し（平成25年12月末）、実装前の稼働テストを行う（平成26年3月末）。

【平成26年度】

平成26年度上期は、27年度に追加で実装するビルを選定する。法制化も視野に、関係機関との間で帰宅困難者保護のために適切な高層ビルの要件を検討する。その結果を踏まえて、26年度下期に27年度に実装するビルを協議会にて決定し、構造ヘルスマonitoringシステムの準備、稼働テストを行う。

また、平成25年度に決定したビル（2棟）に構造ヘルスマonitoringシステムを実装し（平成26年6月）、実証検証を進める。更に、構造ヘルスマonitoringシステムをクラウドシステムに接続し、健全性情報提供が可能な健全性システムの構成案を作成する。

新宿区、各鉄道会社等の協力を得て、高層ビル耐震診断に基づく帰宅困難者行動支援システムを活用した、避難経路、防災マップの検討会を設置・運営を開始する。

【平成27年度】

平成27年度は、26年度に決定したビルに構造ヘルスマonitoringシステムを追加実装し（4棟）、引き続き実証検証を進める。更に、クラウドシステムに接続し健全性情報提供を開始し、避難経路、防災マップに反映させていく。

【平成28年度】

平成28年度は、引き続き実証検証を進めながら、26年度、27年度の実証検証の課題抽出の洗い出しを行う。更に、新宿区、新宿駅鉄道各社等と連携し、避難経路、防災マップを整理し、西新

宿地区の帰宅困難者の避難拠点形成の提言を、新宿区及び関係機関（国）に行う。

更に、本支援終了後を見据え、高層ビル耐震診断に基づく帰宅困難者行動支援システムの全国普及に向けた課題洗い出しをおこない、提言をまとめる。同時に得られた自然科学的（技術的）・社会科学的な知見をまとめる。

3. 実装活動の成果

（1）目標達成及び実装状況

<p>【実装支援期間終了後の目標（到達点）】 6棟への実装</p> <p>防災マップ等の検討</p>	<p>【実装状況】 8棟への実装</p> <p>避難計画への活用は「首都圏複合災害への対応・減災支援技術プロジェクト（戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）：レジリエントな防災・減災機能の強化、代表：工学院大学 久田教授）」に引き継ぐ</p>
--	--

（2）実装された成果の今後の自立的継続性

プロジェクト遂行中に構造ヘルスマonitoringシステムへの関心が高まり、新築の高層オフィスビルについては設置することが常識化しつつある。構造ヘルスマonitoringシステムそのものは、ビジネスとしても十分に成立する可能性が高まっている。実際複数の企業が製品化に至っている。ただし、クラウドサービスについてはビジネスとして立ち上がる予定であるものの、収益性の観点で持続可能かの判断は現時点ではできない。

なお、工学院大学および東北工業大学に設置された構造ヘルスマonitoringシステムによって取得されたデータは広く公開されることとなっている。こうしてシステムのデータについて公開されるものは極めて少ない。公開データの活用によって、システムの検証が進み、今後の普及と関連技術の更なる発展に大きく寄与することが期待される。その他のビルについても協力関係を継続し、了解を得られたものについては知見を公開する予定である。

（3）実装活動の他地域への普及可能性

本実装活動を実施するにあたってアプローチした複数の不動産会社および損害保険会社が、構造ヘルスマonitoringシステムの導入について前向きに検討していることが、明らかになった。新宿西口地区に限らず、日本全国の高層ビルが対象となっている。個別のビルへの普及は時間の問題とも言える段階になった。

（4）実装活動の社会的副次成果

新宿駅西口地区への構造ヘルスマonitoringシステムの実装が知られることによって、鉄筋コンクリート建物や戸建て住宅レベルの建物に向けた構造ヘルスマonitoringシステム

の開発機運が高まった。特に熊本における地震において、二度目の強震を受けて倒壊した住宅での死亡事例があり、連続する次の大地震に耐えることができるか迅速に判断したい、とのニーズが明確になった。

(5) 人材育成

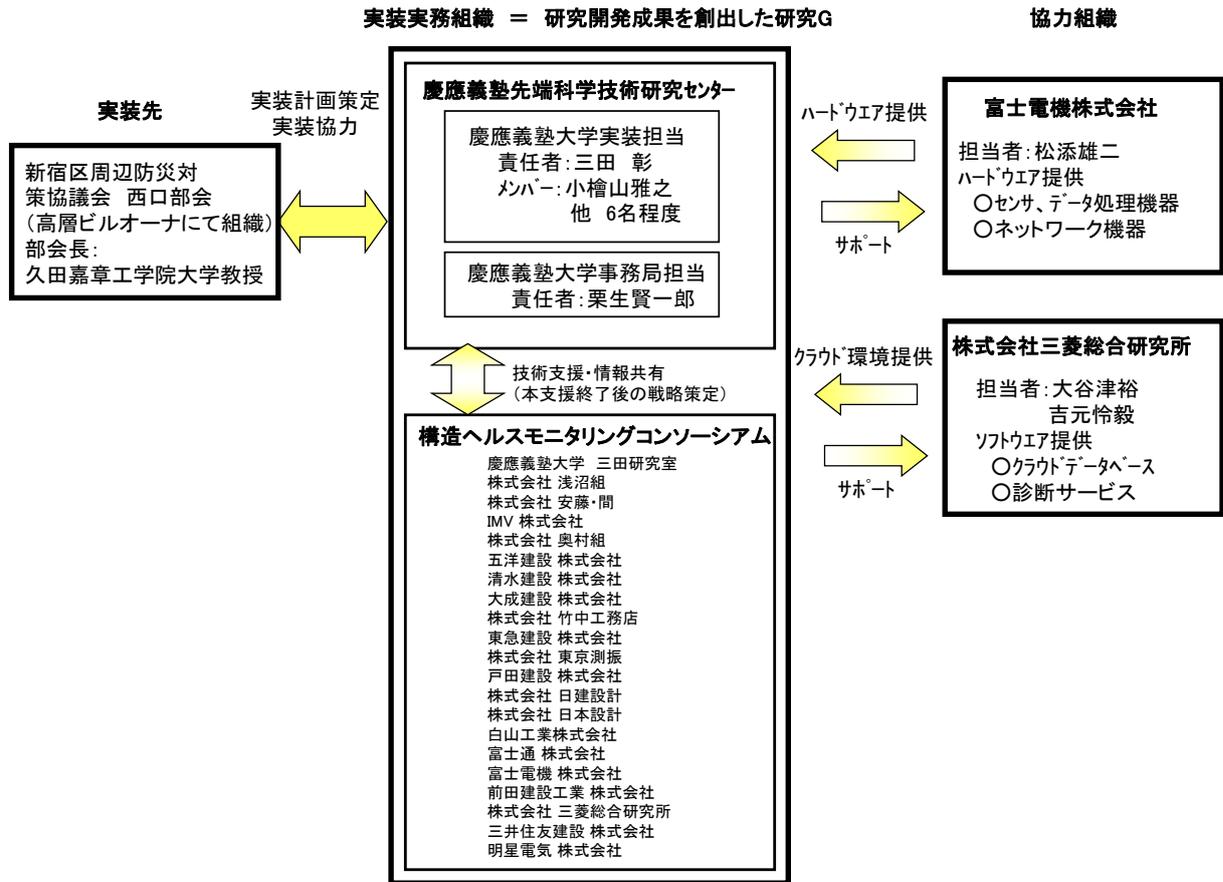
多くの大学院生に計画策定および取得したデータに基づく解析等に参画してもらい、実建物の構造的な複雑さとこうしたシステムの重要性について、理解を深めてもらった。また、運用にあたっては工学的な理屈だけでは不十分で、経済的社会的な側面を十分に理解しなければならないことへの理解も深まった。このプロジェクトに参画した複数の卒業生が、就職先の企業でこうした構造ヘルスマモニタリングシステムの開発・普及に携わっていて、このプロジェクトが直接役立っている。

(6) 実装活動で遭遇した問題とその解決策

遭遇した問題とその解決策については以下の通り。

- 工事費用が予想より高額となった
高層ビルの配線費用が特に高額になることが判明し、予算が不足した。そのため、他の予算でセンサ等を購入して不足分を補った。
- 防災マップ等に反映することが現実的でないことがわかった
帰宅困難者として見込まれる数十万人に比べて、一つのビルで収容可能な人数は高々千人レベルであり、安全なビルをオープンに知らせることがパニックを誘発する危険性があることが判明した。そのほかの多くの手段と総合した計画の設定が不可欠であると判断し、共同でシンポジウムを開催しているプロジェクト「首都圏複合災害への対応・減災支援技術プロジェクト（戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）：レジリエントな防災・減災機能の強化、代表：工学院大学 久田教授）」に避難計画への反映については引き継いでいただくこととした。

4. 実装活動の組織体制



実装責任者： 慶應義塾大学理工学部 教授 三田 彰
事務責任者： 慶應義塾大学理工学部学術研究支援課 課長 栗生 賢一郎

5. 理解普及のための活動とその評価

(1) 展示会への出展等 該当なし

(2) 研修会、講習会、観察会、懇談会、シンポジウム等

年月日	名称	場所	概要	ステークホルダー	社会的インパクト
H26年11月27日	防災訓練	工学院大学、エステック情報ビル	システムを組み込んだ防災訓練が行われ、参加者に模型やビデオを用いてデモンストレーションを行った。	ビルの管理者、テナント、学生、教職員	参加者は600名以上
H27年11月2日	建物・エリアモニタリングと災害時対応力向上シンポジウム (K-SHM連絡調整会議)	工学院大学新宿校舎20階第6会議室	「巨大都市・大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援アプリケーションの開発プロジェクト」と共催で開催したもので、それぞれのプロジェクトの紹介と二つのプロジェクトの今後の協力方法について討議した。	行政、設計事務所、センサーメーカー、ゼネコン、IT企業	参加者は約70名
H28年9月30日	建物・エリアモニタリングと災害時対応力向上シンポジウム (K-SHM連絡調整会議)	工学院大学新宿校舎・28階第1会議室	「首都圏複合災害への対応・減災支援技術プロジェクト」と共催で開催したもので、本プロジェクトのこれまでの成果と上記プロジェクトへの引き継ぎ方法について討議した。	設計事務所、センサーメーカー、ゼネコン、IT企業	参加者は約70名

(3) 新聞報道、TV放映、ラジオ報道、雑誌掲載等

H27年12月17日朝のNHKニュースにおいてモード学園コクーンタワーを例題として新宿駅西口での取り組みについて紹介された。

(4) 論文発表 (国内誌 3 件、国際誌 0 件)

- 鈴木悠、三田彰「適応型拡張カルマンフィルタを用いた3台の加速度センサによる高層建物の層間変形角推定手法」日本建築学会構造系論文集、80巻717号、1649-1656 (2015.11)
- 鈴木悠、三田彰「少数の加速度センサを用いた出力のみによる建物の層間変形角推定手法」日本建築学会構造系論文集、80巻725号、1061-1070 (2016.07)
- 鈴木悠、三田彰「1台の加速度センサを用いた出力のみによる建物の層間変形角推定手法」日本建築学会構造系論文集、第81巻726号、1199-1208 (2016.8)

(5) WEBサイトによる情報公開

<http://www.mita.sd.keio.ac.jp/project/>

(6) 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

①招待講演 (国内会議 1 件、国際会議 2 件)

- 三田彰 (慶應義塾大学)、Role of structural health monitoring systems in tall buildings for evacuation guidance, 5th Asia Pacific Workshop on Structural Health Monitoring (5APWSHM-2014) 深セン (中国)、H26年12月5日
- 三田彰 (慶應義塾大学)、振動計測から広がる建築の未来、第7回振動技術展、パシフィコ横浜、H28年2月5日

- 三田彰（慶應義塾大学）、Structural health monitoring systems for tall buildings and their future, Asia-Pacific Summer School at UIUC, H27年8月4日

②口頭講演（国内会議 3 件、国際会議 4 件）

- 三田彰（慶應義塾大学）、Implementation of Shelter Guidance System for Commuters Who Are Unable to Return Home based on Structural Health Monitoring, Sixth World Conference on Structural Control and Monitoring, スペイン、バルセロナ、H26年7月17日
- 三田彰（慶應義塾大学）、高層ビル耐震診断に基づく帰宅困難者行動支援システムの社会実装、シンポジウム「建物・エリアモニタリングと災害時対応力向上シンポジウム」、工学院大学、H27年11月2日
- 三田彰（慶應義塾大学）、構造物のモニタリング技術と社会のはざまー、建築学会振動運営委員会シンポジウム「東日本大震災から5年、建築振動工学の到達点と残された課題」、建築会館、H28年1月22日
- 三田彰（慶應義塾大学）、Gap between technically accurate information and socially appropriate information for structural health monitoring system installed into tall buildings, the SPIE 23rd Annual International Symposium on Smart Structures and Material Systems + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring, Las Vegas, H28年3月21日
- 平井健太、三田彰（慶應義塾大学）、Uncertainty analysis of practical structural health monitoring systems currently employed for tall buildings consisting of small number of sensors, the SPIE 23rd Annual International Symposium on Smart Structures and Material Systems + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring, Las Vegas, H28年3月21日
- 鈴木悠、三田彰（慶應義塾大学）、Estimation of seismic response of buildings with a few accelerometers without input data, SPIE. 9803, Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems, Las Vegas, H28年3月21日
- 三田彰（慶應義塾大学）、高層ビル耐震診断に基づく帰宅困難者行動支援システムの社会実装、シンポジウム「第2回 建物・エリアモニタリングと災害時対応力向上シンポジウム」、工学院大学、H28年9月30日

③ポスター発表（国内会議 0 件、国際会議 1 件）

- 小沢彩幸、三田彰（慶應義塾大学）、Optimized sensor location for estimating story-drift angle for tall buildings subject to earthquakes, SPIE. 9805, Health Monitoring of Structural and Biological Systems X, Las Vegas, (2016. 03)H28年3月22日

(7) 特許出願 該当なし

(8) その他特記事項 特になし

6. 結び

このプロジェクト発足当初に危惧されたのは、設置に協力してくれる高層ビルが見つけれられるかどうか、であった。幸い、新宿駅周辺防災対策協議会西口部会関係者、構造ヘルスマニタリングコンソーシアムに参画されている多数の企業関係者のご協力により、無事6棟の高層ビルへの設置を実施することができた。また他地域への展開については、日本橋地区および仙台地区への展開をすることができた。予算が限られる中、費用面でのご協力をいただいて実現できたものである。

本プロジェクトのメンバーの多くは、これまで構造ヘルスマニタリングシステムの技術的な側面についての研究を長年行ってきた。本プロジェクトでは、実用に向けた実装であり、配線工事やシステム設置についてのエンジニアリング費用に思いのほか多額の費用がかかることが判明した。また、技術的に結果を表示するだけでは避難に対して何も役立たず、空調設備や防火設備等、その他の重要な設備の損傷確認も含めた総合的な判断が必要であることも明確になった。社会・経済的な側面の重要性が改めて浮き上がったプロジェクトでもあった。こうした知見は、今後の研究開発にフィードバックさせていきたい。

最後に新宿駅西口地区での実証試験に対してご協力いただいた高層ビル6棟を下図に示す。ご協力いただいたご関係の皆様にご挨拶申し上げて結びとしたい。

