

テーマ 1 「大都市中心エリアを対象としたオールハザード対応キットの開発（成果概要）」

エリア防災、災害対応支援、VR、動画像解析
ストック更新、余剰空間活用

村上正浩*、福田一帆** 雨車和憲***
境野健太郎**** 藤賀 雅人*

1. はじめに

2020年東京オリンピック・パラリンピックを控え、大都市・東京では、首都直下地震などの震災だけでなく、近年の異常気象に起因した集中豪雨による水害など都市型災害への対策も課題である。テーマ1では、新宿駅周辺地域とその郊外部をテストケースに、大都市中心エリアにおける首都直下地震等による震災や集中豪雨等による水害などマルチハザードに対して、効果的かつ柔軟な災害対応が可能なオールハザード対応キットを開発し、社会実装に向けた検証を行う。

具体的には、まず、想定されるハザードに対して、①ドローン・ICTなど各種技術や建築ストック・余剰空間の活用により、地域が連携した災害対応が可能となるエリア防災計画の策定ツールを開発する。また、計画に基づいた効果的な災害対応を可能とするため、②高層ビルでの自衛消防組織による災害対応を支援するツール、及び③現地本部・一時滞在施設など災害活動拠点の開設・運営を支援するツールを開発する。

2. 研究実施体制

表1に研究実施体制を示す。本テーマは、建築学部

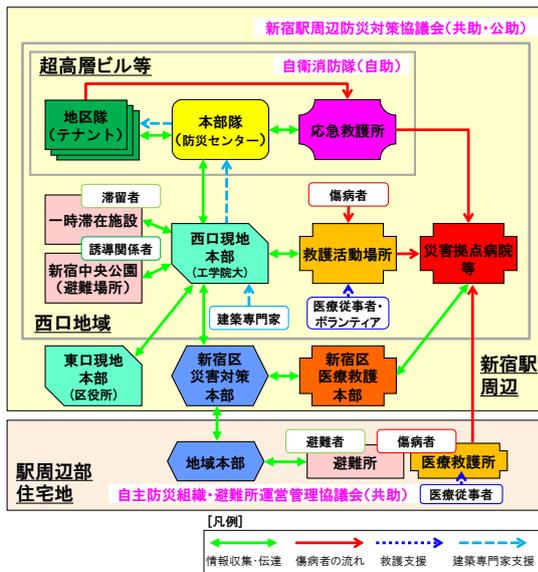


図1 地域連携によるエリア災害対応のイメージ（新宿駅周辺地域および郊外部）

まちづくり学科2名、建築学部建築学科1名、情報学部情報デザイン学科1名、情報学部コンピューター科学科1名（2018年度より）の計5名で構成する。以下が3つの研究開発の概要と役割分担である。

表1 研究実施体制

担当者	主な役割
村上正浩（リーダー） （建築学部・教授）	・エリア防災への種支援技術の活用 の検討、エリア防災計画のモデル構築 ・震災対応訓練支援ツール開発 ・超高層建築の応答・被害予測と対応 支援システム開発 ・現地本部・一時滞在施設開設キット の開発
福田一帆（サブリーダー） （情報学部・准教授）	・自衛消防隊の役割を体験可能なVR コンテンツ開発
境野健太郎 （建築学部・准教授）	・エリア防災計画のモデル構築
藤賀雅人 （建築学部・准教授）	・建築ストック・余剰空間のエリア防災 対策への活用可能性の検討
雨車和憲 （情報学部・助教）	・飛行ドローンによる外壁被災判定の 効率化手法の開発

① エリア防災計画の策定ツールの開発

大都市中心エリアでは、地震など大規模災害時には甚大な被害が想定される。そのため、図1に示すような地域内の関係者が連携し、エリアとしての防災機能をもとめることが必要である。

本研究開発では、新宿駅周辺地域とその郊外部をテストケースに、ドローン・ICTなど各種支援技術や建築ストック・余剰空間を有効活用したエリアの防災計画のモデルを開発する（図2）。とくにエリア災害対応への情報技術活用については、テーマ3・水野と連携して有用性の検証を進める。【藤賀、境野、村上】

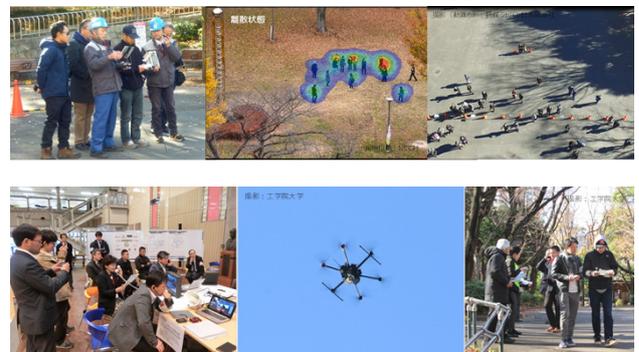


図2 ドローンによる情報収集・情報発信実験の例（上段：上空からの撮影映像と滞留者密度解析、下段：上空からの滞留者の誘導情報の発信）

*：工学院大学建築学部まちづくり学科、**：工学院大学情報学部情報デザイン学科

：工学院大学情報学部コンピューター科学科 *：工学院大学建築学部建築学科

② 自衛消防組織の災害対応支援ツールの開発

消防法による消防計画に基づく自衛消防組織は、事業所における標準化された災害対応組織として、高層ビルへの設置と訓練が義務付けられており、火災のみならず地震時などにも活動することになっている。しかし、多くの高層ビルでは震災時を想定した防災訓練が十分に実施できていないなど、実効性の面で課題がある。大都市中心エリアにおいて、大規模災害後の混乱を抑止し、地域が連携した災害対応を可能とするためにも、エリア内に集積する高層ビルでの自衛消防組織による迅速な防災活動が重要となる。

本研究開発では、まず自衛消防組織が行う震災対応訓練に着目し、震災時の自衛消防隊の役割を体験可能なVRコンテンツ、及び訓練の企画・実施・評価といった一連のプロセスの効率的な実施を支援する訓練ツールを相互に連携させ開発する（図3、図4）。【福田、村上】

また、テーマ2・久田と連携し、長周期地震動の予測・観測情報をもとに、高層ビル各階の長周期地震動階級等の推定結果を自動発信し、自衛消防組織などの



図3 自衛消防組織の震災対応訓練の例（新宿駅周辺防災対策協議会）



図4 震災時の自衛消防組織の役割を体験可能なVRコンテンツの例

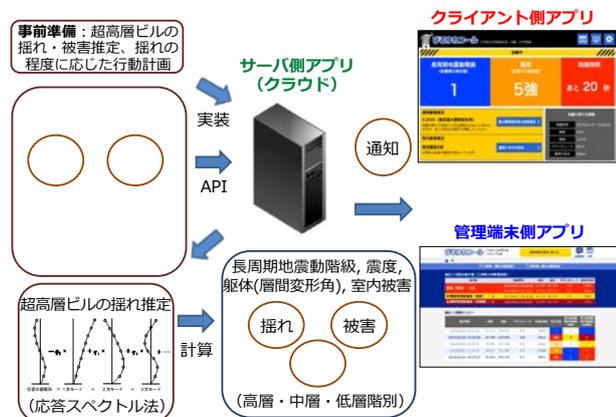


図5 長周期地震動を考慮した超高層建築の応答・被害予測と対応支援システムの概要

適切な初動対応を支援するシステムを開発する（図5）。【村上】

さらに、テーマ3・田村とも連携して、動画画像解析技術を活用し、飛行ドローンによる外壁被災判定を効率的に行う手法を開発する（図6、図7）。【雨車】

③ 災害活動拠点の開設・運営支援ツールの開発

大規模災害後、地域が連携した災害対応を可能とするには、図1に示したような各活動拠点の速やかな開設・運営も不可欠である。

本研究開発では、大規模災害後の混乱を抑止するうえで重要となる、現地対策本部及び帰宅困難者のための一時滞在施設に着目し、限られた人的資源を効率良く活用して拠点の迅速な開設・運営を支援するツールを開発する（図8、図9）。【村上】

3. 過去4年間の成果の概要

① エリア防災計画の策定ツールの開発



図6 飛行ドローンにより撮影した画像例



図7 ビル壁面画像（左）と自動検出した傷領域（右）



図8 一時滞在施設開設支援ツールと訓練への活用



図9 現地本部開設ツールの外観・内容物の例

新宿駅周辺地域には、震災時の駅周辺地域の混乱防止を目的とした新宿駅周辺防災対策協議会（以下、協議会）がある。協議会の構成員を対象にセミナー・講習会・訓練等を行い、エリア防災の担い手育成と仕組みづくりを進めた。同時に、ストック更新によるエリア防災力向上の可能性について、新宿駅などターミナル駅近隣に位置する木造密集市街地でのストック更新による防災性向上政策に関する調査を開始した。

② 自衛消防組織の災害対応支援ツールの開発

VR 環境整備のための 3 次元レーザースキャナーの仕様を決定し、導入の準備を進めた。

③ 災害活動拠点の開設・運営支援ツールの開発

避難所開設キットを参考に、各拠点の開設・運営支援ツールの開発仕様を決定した。

3. 2 2 年度（2017 年度）

① エリア防災計画の策定ツールの開発

初年度に続いて、協議会を対象とした担い手育成と仕組みづくりを進めつつ、エリア内の各拠点が連携した災害対応が行えるように現地本部・一時滞在施設を対象に運営等に関わるマニュアルを試作し、協議会での訓練により効果と改善点を把握した。エリア災害対応への情報技術（ドローン、情報連携システムなど）の活用については、協議会での訓練への適用により検証を進めた。また、ターミナル駅近隣の木造密集市街地を対象とした調査から、ストック更新による防災性向上政策の効果・課題を明らかにした。

② 自衛消防組織の災害対応支援ツールの開発

3 次元レーザースキャナーを導入し、現存空間の VR 開発環境へ転用する手法を構築した（図 10）。一方、試作した VR 災害体験における認知行動特性・生体反

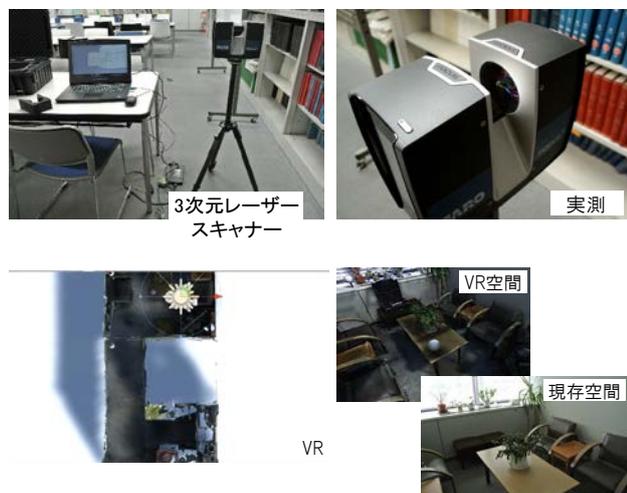


図 10 3 次元レーザースキャナーに実測の様子（上段）と 3 次元モデリングした結果（下段）の例

応の検討を行い、協議会が提案する自衛消防訓練の震災対応訓練モデル等を参考に訓練 VR 及び訓練支援ツールの開発仕様を作成した。

③ 災害活動拠点の開設・運営支援ツールの開発

初年度に準備した開発仕様をもとに、現地本部・一時滞在施設の開設支援ツールを試作した。

3. 3 3 年度（2018 年度）

① エリア防災計画の策定ツールの開発

引き続き、協議会での担い手育成と仕組みづくりを進めつつ、改良したマニュアル類を協議会の訓練・講習会に活用して有効性を確認し、協議会の HP で公表した。また、協議会での訓練等への適用を通じて、情報技術の活用がエリア内の関係者の適切な対応行動につながることや、災害時の情報収集及び滞留者誘導、各拠点間の情報共有に有用であることを確認した。

一方、大都市ターミナル駅周辺に分布する余剰建築空間のエリア防災対策への活用可能性について検討するため、東京都の附置義務駐車場低減の取組と申請・審査の実態を把握した。

② 自衛消防組織の災害対応支援ツールの開発

開発仕様に基づき、まずは自衛消防組織の初期消火班による役割を体験可能な VR を試作し、協議会構成員や本事業に関わる専門家による評価から効果・課題を確認した。並行して、自衛消防組織の震災対応訓練の企画・実施・評価の一連のプロセスの支援するツールを試作し、消防関係者等専門家へのヒアリングにより改善点を明らかにした。

また、テーマ 2・久田と連携し、長周期地震動の予測・観測情報を活用した対応支援システムの開発仕様を作成し、タブレット端末・PC 上で稼働する試作版を開発した。

さらに、テーマ 3・田村と連携して、動画画像解析技術を活用し、飛行ドローンにより撮影されたビル壁面映像を用いたマッピング技術構築のための基礎検討を行った。

③ 災害活動拠点の開設・運営支援ツールの開発

前年度試作した現地本部・一時滞在施設の開設支援ツールを協議会での講習会（図上演習）・訓練へ適用し、訓練参加者アンケートから有効性を確認した。一方で、使用性や備品の見直しなど改善点も明らかにした。

3. 4 4 年度（2019 年度）

① エリア防災計画の策定ツールの開発

引き続き、協議会での担い手育成と仕組みづくりを進めつつ、公表したマニュアル類を協議会での講習会（図上演習）・訓練へ適用し、協議会構成員へ周知啓発を図った。また4年度は、自治体の災害対策本部訓練と連携したドローン活用について検証することができ、現地本部を中心とする災害時の情報収集及び滞留者誘導、新宿区災害対策本部との情報共有に関して、情報技術活用の効果を確認することができた。一方で、ドローンや情報連携システムといった各種支援技術が利活用できる条件・場面を整理し、維持管理の問題も含めて検討する必要性を確認できた。

また、都内のターミナル駅周辺の余剰建築空間のエリア防災対策への転用可能性調査と、新宿駅周辺エリアの附置義務駐車場の分布特性から、地区レベルで余剰空間をエリア防災対策へ活用する際の論点整理と活用可能性の高い具体的な建物立地を特定した（図11、図12）。

② 自衛消防組織の災害対応支援ツールの開発



図11 新宿駅西口エリアの附置義務駐車場の分布

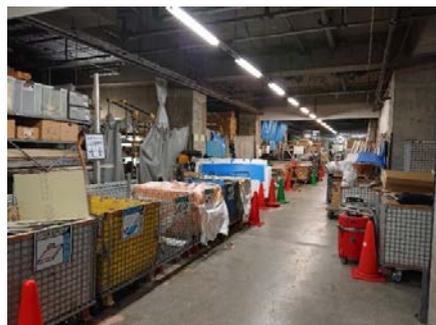


図12 既存遊及審査による駐車場の転用事例

前年度のヒアリング等を踏まえ、まずVRについては、自衛消防隊を構成する各班の基本的な役割を体験可能なVRコンテンツとした。体験者はVR空間を自由に移動でき、自身の判断に基づいて次の行動を選択することができる設計により教育的な効果を高めた。また、ログデータを蓄積できるようにしたことで、体験後の振り返りに活用できるようにした。改良したVRは協議会での防災イベント等へ活用し、文字と音声を併用した情報提示や操作チュートリアル必要性など、次年度に向けた改善の方向性を明らかにした。

他方、訓練支援ツールについてもヒアリング結果を踏まえて改良し、一般的な防火防災管理者でも手軽に自衛消防訓練の企画・準備、実施、振り返りが出来るよう工夫するとともに、訓練対象のニーズ・スキルに応じて柔軟に対応できる設計とした。次年度に向け、消防庁予防部において図上演習・実動訓練への活用について検証を進めているところである。

また、テーマ2・久田と連携し、長周期地震動の予測・観測情報を活用した対応支援システムの試作版を改良した。工学院大学新宿校舎の地下階（防災センター）、中層階（法人事務室）、高層階（研究室）で試験運用を行い、本学に即した推定被害とレベル別対応活動の作成、活用方法の検討を進めた。

そして、飛行ドローンによる外壁被災判定を効率的に行う手法の実現に向け、撮影されたビル壁面映像から被害箇所を自動判定するアルゴリズムを作成し、70種類のビル壁面画像を用いて有効性を確認した。

③ 災害活動拠点の開設・運営支援ツールの開発

前年度の課題解決を図り、講習会（図上演習）・訓練へ適用した。現地本部開設支援のツールは、使いやすさと、とるべき行動のわかりやすさについて高い評価を得た。結果として、訓練が災害対応のイメージ構築や災害対応力の向上に有用だという評価にもつながった。一時滞在施設開設支援のツールについても高い評価を得たが、多言語表記や個人情報の取り扱いなど改善が必要な課題も同時に明らかになった。

4. おわりに

4年度を終え、各研究開発が一定の成果をあげているが、各研究開発において改善すべき課題もある。最終年度に向け、震災・水災、それらが複合した災害への対応を加速させるとともに、各成果を統合し、社会実装に向けた準備を行う。各研究開発の詳細内容については各報告書を参照されたい。

大都市中心エリアを対象としたオールハザード対応キットの開発

エリア防災、災害対応支援、訓練支援、オールハザード

村上正浩*、境野健太郎**

1. はじめに

2020年東京オリンピック・パラリンピックを控え、大都市・東京では、首都直下地震などの震災だけでなく、近年の異常気象に起因した集中豪雨による水害など都市型災害への対策も焦眉の課題である。

テーマ1では、新宿駅周辺地域とその郊外部をモデルに、大都市中心エリアにおける首都直下地震等による震災や集中豪雨等による水害などマルチハザードに対して、効果的かつ柔軟な災害対応が可能なオールハザード対応キットを開発する。

具体的には、まず、想定されるハザードに対して、(1)ドローン・ICTなど各種技術や建築ストック・余剰空間の活用により、地域が連携した災害対応が可能となるエリア防災計画の策定ツールを開発する（図1）。また、計画に基づいた効果的な災害対応を可能とするため、(2)高層ビルでの自衛消防組織による災害対応を支援するツール、及び(3)現地本部・一時滞在施設など災害活動拠点の開設・運営を支援するツールを開発する。

本テーマは表1の教員5名が担当する。初年度は開発環境を整備し、2年度から3年度にかけてオールハザード対応キットのプロトタイプを試作とアンケート

調査等による有用性の検証を行う。4年度には訓練等への適用を通じてプロトタイプをブラッシュアップし、最終年度はキットを完成させ成果を公開する。

表1 研究実施体制

担当者	主な役割
村上正浩(リーダー) (建築学部・教授)	・エリア防災への各種支援技術の活用の検討、 エリア防災計画のモデル構築 ・震災対応訓練支援ツール開発 ・超高層建築の応答・被害予測と対応支援システム開発 ・現地本部・一時滞在施設開設キットの開発
福田一帆(サブリーダー) (情報学部・准教授)	・自衛消防隊の役割を体験可能なVRコンテンツ開発
境野健太郎 (建築学部・准教授)	・エリア防災計画のモデル構築
藤賀雅人 (建築学部・准教授)	・建築ストック・余剰空間のエリア防災対策への活用可能性の検討
雨車和憲 (情報学部・助教)	・飛行ドローンによる外壁被災判定の効率化手法の開発

2. 過去4年間の成果

2.1 初年度：開発環境の整備、開発仕様の決定

(1)地域連携によるエリア防災計画の策定

本研究では、新宿駅周辺地域とその郊外部を研究フィールドとする。新宿駅周辺地域には、事業者や医師会、防災関係機関、新宿区等で構成される新宿駅周辺防災対策協議会があり、協議会の構成員を主な対象とした「災害対応の知識・経験を得るためのセミナー」、「実践的な技能を習得するための講習会」、「身につけた知識・技能を活かす地震防災訓練」を体系化した教育訓練プログラムを実施し、エリア防災の担い手育成と仕組みづくりを継続して進める¹⁾²⁾。また当エリアでは、2016年6月から震災時における帰宅困難者等による混乱防止のためのエリア内の行動指針(新宿ルール実践のための行動指針)³⁾⁴⁾の運用を開始した。本研究では、行動指針を基本に、地域が連携した災害対応が可能なエリア防災計画の策定を目標とする。

(2)高層ビルでの自衛消防組織による震災対応支援ツールの開発

消防法による消防計画に基づく自衛消防組織は、事業所における標準化された災害対応組織として、大規模高層建築物への設置と訓練が義務付けられており、火災のみならず地震時等にも活動することになっている。しかし、多くの高層ビルでは震災対応訓練は実施できておらず、自衛消防組織の実効性の面で課題がある。本研究では、新宿駅周辺防災対策協議会で提案

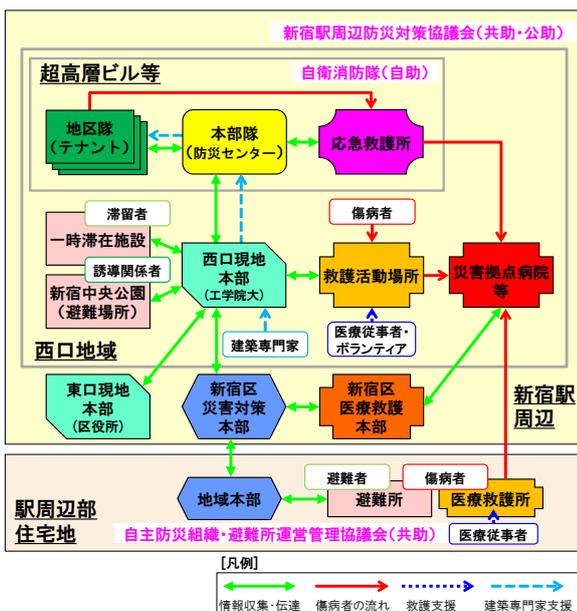


図1 新宿駅周辺地域および郊外部をモデルとしたエリア災害対応の概念図

* : 工学院大学建築学部まちづくり学科、** : 工学院大学建築学部建築学科

された高層ビルの自衛消防組織の震災対応訓練モデル⁵⁾（図2）等を参考とし、「震災時の自衛消防隊の役割を体験可能なVRコンテンツ（自衛消防隊訓練VR）」、および「訓練の企画・実施・評価といった一連のプロセスの効率的な実施を支援する自衛消防訓練ツール」を相互に連携させ開発する。前者は福田（テーマ1）が主に担当し、後者は村上が主に担当する。以下、村上が担当する自衛消防訓練キットについて報告する。



図2 新宿駅周辺防災対策協議会での自衛消防組織の震災対応訓練の様子（右：建物被害の収集、傷病者の応急手当、傷病者の搬送）

(3) 災害活動拠点の開設・運営支援キットの開発

エリア防災計画に基づいた効果的な災害対応を可能とするには、エリア内の災害活動拠点の速やかな開設・運営が必要である。しかし、災害時の限られた人的資源では十分に対応できるわけではない。

そこで、災害時に当エリアで想定される膨大な帰宅困難者等による混乱等の2次災害防止を図るうえで重要な活動拠点となる、エリア災害対応の中心的役割を担う現地本部と帰宅困難者のための一時滞在施設に着目し、限られた人的資源を効率良く活用して拠点の迅速な開設・運営を支援するキットを開発する。このキットは、筆者らが開発した「避難所開設キット」⁶⁾（図3）の開発ノウハウを応用して構築する。避難所開設キットはファンクショナル・アプローチの手法を用いて構築したものであり、次のような特徴がある。

- 1) 開設の行動手順・掲示物・備品・帳票類を収納し、手順を明確化することで、その場に居合わせた避難者でも速やかに行動をおこすことができる。
- 2) 避難所開設に必要な行動の手順書と掲示物・備品類等を、行動ごとにケースに分けてパッケージ化したことで、分担しながら同時並行で作業を行うことができる。
- 3) 各種掲示物や帳票類をラミネートしておくこと



図3 避難所開設キットの構成例

- 4) で、災害時だけでなく、普段の実動訓練・図上訓練でも繰り返し使うことができる。

避難所開設キットは新宿区等へ導入されているが、本研究での開発ノウハウの応用を通じてブラッシュアップを図り、自治体へのさらなる展開を加速する。

2.2 2～3年度：プロトタイプを試作と有用性検証

(1) 地域連携によるエリア防災計画の策定

① 災害対応拠点運営マニュアルの作成

行動指針に基づいて、エリア内の災害活動拠点が連携し標準化された災害対応が行えるよう、現地本部・一時滞在施設および避難場所を対象に運営等に関わるマニュアルを構築した。マニュアルの作成にあたっては、各拠点を開設・運営する場合に、最低限必要となる活動内容を定義するとともに、その活動内容と「行動指針」との関係を明確にすることで、地域連携による活動が円滑に行えるよう留意した。マニュアルの構成は、活動拠点の運営要員が、他拠点等の行動や連携すべき事項を確認する「行動指針に基づく実施行動」、運営要員が各行動の指揮を執るための手順を示した「各行動の手順等」及び、手順に沿って掲示等するための「帳票類」の3つで構成した⁷⁾（図4）。

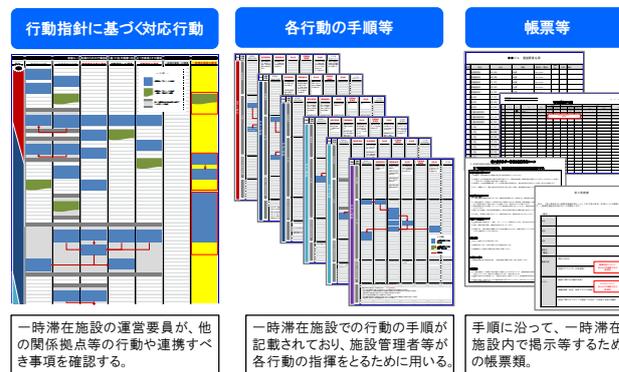


図4 マニュアルの例（一時滞在施設）

② エリア災害対応への情報技術の活用

エリア内の関係者が連携し、災害対応を効果的に行うには、対応行動に必要な情報を速やかに共有することも必要である。そこで、内閣府・戦略的イノベーション創造プログラム（2014～2018）と連携し、筆者らが開発した「エリア災害対応支援システム」³⁾を当エリアに実装する。システムの実装と運用についてはシステムを共同開発したテーマ3の水野と連携する。

図5がシステムの概要である。本システムは、発災後に外部サーバから地震観測・被害推定情報を入手し、地域内の関係者に配信する。すなわち、就業者・来街者（一般市民）には、当エリアの行動指針や公共交通、一時滞在施設等の情報を時間フェーズに応じて配信

する。一方、地域内の施設管理者・各拠点の防災担当者（防災従事者）には、関連情報の配信と同時に、自分の施設や周辺の関連情報を送付してもらい、地域内の状況を整理し、状況に応じた適切な対応行動を支援する。システムはクラウド環境で稼働し、iOS・Android・Windows を搭載した PC・スマートフォン・タブレットで Web ブラウザを介して利用できる。

2017・2018 年度に新宿駅周辺防災対策協議会で実施した現地本部訓練にシステムを適用し、図 1 に示したような現地本部を中心としたエリア災害対応を支援できるかを検証した（図 6）。訓練後の参加者へのアンケートおよび訓練検証会でのワークショップにおいて、システムの操作性や情報提示に関する課題が指摘されたものの、公共交通機関の運行情報や一時滞在施設の開設情報、時間フェーズに応じた行動など、システムの活用が当エリアの行動指針に基づく適切な対応行動の支援につながる事が確認できた³⁾。

③現地本部を中心とした情報共有と滞留者誘導のための情報発信へのドローン・情報技術の活用

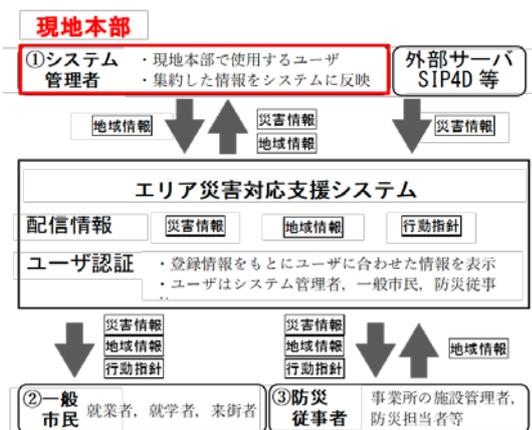


図 5 システムの概念図



図 6 システムのスマートフォンでの表示画面例（左から、行動指針、鉄道運行情報、避難場所情報）

現地本部を中心とする災害時の情報収集および滞留者誘導、新宿区災害対策本部との情報共有に、当地域の事業者が保有するドローンや情報通信技術の活用についても検証した⁸⁾。なお、高層ビル外壁に関する、平常時の保守点検や災害時の応急点検を視野に入れたドローン活用の有効性検証⁹⁾は、共同して実施したテーマ 2 の田村が報告する。

2017 年度は避難場所（中央公園）・西口現地本部（工学院大学）・新宿区災害対策本部（新宿区役所）間に長距離無線 LAN（4.9GHz 帯）を常設し、西口現地本部から遠隔地である避難場所に対して滞留者への音声による情報発信を行った（図 7）。3 拠点間の通信手段について LTE を活用するなど冗長化も試みた。実験の結果、各拠点間での双方向のリアルタイム情報共有が可能であることが確認できた。ドローンの空撮映像に加え、地図と連動したドローンの飛行情報の可視化



図 7 実験の様子（上段：西口現地本部での情報共有画面と本部内の様子、左下段：動画像解析の結果例、右下段：滞留者への情報提供実験の様子）



図 8 2018 年度の実験実施場所



図 9 ドローンによる俯瞰的な状況把握

や固定カメラ等による映像の併用が意思決定に有用であることも確認できた。また、男声よりも女声による情報発信が有用であったが、聞き取りやすさにも配慮した単語の選択が必要であることがわかった。

2018年度は、避難場所以外の拠点においてもドローンを飛行させることにより、面的な情報収集を行うとともに、現地本部訓練と連携して行い、より実際に近い状況で実効性を検証した（図8）。実験の結果、西口現地本部・新宿区災害対策本部間で鮮明な動画を共有でき、エリア内の俯瞰的な状況把握に有効に活用できることを確認した（図9）。さらに、避難場所の滞り者へ4カ国語（日本語、英語、中国語、韓国語）での情報発信を行ったが、言語により読み上げの早さにも配慮が必要であることが確認できた。

(2) 高層ビルでの震災対応を想定した自衛消防訓練ツールの開発

新宿駅周辺防災対策協議会での自衛消防組織の震災対応訓練モデルや東京消防庁の「自衛消防隊の組織及び活動能力の検証要領」¹⁰⁾等を参考に、まず訓練の企画・実施・評価のプロセスをパッケージ化する際のフレームワークを試作した（表2）。フレームワークは訓練企画者および訓練参加者が使用する9つのツール群で構成した。これを自衛消防組織の震災対応訓練に適用したのが図10である。たとえば、「ツールIV」には症状例を記載した負傷者カードや応急救護班行動フロー（図11）などがあり、訓練参加者が訓練前に事前学習しかつ訓練中に用いる。また「ツールVI」には、応急救護班リーダー評価シートのような訓練参加者の訓練中の行動の評価に用いる資料がある。試作したツールについて、2018年3月に東京消防庁新宿消防署予防課1名、日本赤十字社東京都支部事業部3名および新宿駅西口の高層ビル防災担当者2名にヒアリングを行った。結果としては、これまで自衛消防組織の震災対応訓練を支援するツール類はないことからニーズが高いという意見があった。一方で、かなりレベルの高い訓練構成となっていることや、総合訓練には対応しているが個別要素の訓練を行えないことなど、一般の防火防災管理者が容易に使用できるものにはなっていないとの評価であった。

(3) 災害活動拠点の開設・運営支援キットの開発

先に述べた、行動指針を対応したマニュアルをもとに、避難所開設キットの開発ノウハウとファンクショナル・アプローチの手法を用いて、現地本部と一時滞在施設の開設・運営を支援するキットを試作した⁷⁾。

表4 試作したフレームワーク

	訓練企画者	訓練参加者
訓練キット	■ツールⅠ：訓練キットに関する資料	—
事前準備段階	■ツールⅡ：訓練企画者・訓練参加者の両者に提示する資料	■ツールⅣ：訓練参加者が、訓練前に事前学習しかつ訓練中に用いる資料
	■ツールⅢ：参加者に事前提示しない資料	
訓練実施中	■ツールⅤ：訓練企画者が進行に用いる資料	—
	■ツールⅥ：訓練参加者の訓練中の行動の評価に用いる資料	
振り返り段階	■ツールⅦ：デブリーフィングの進行に用いる資料	■ツールⅧ：気づきや参加者自身による評価に用いる資料 ※ツールⅣ兼わる
その他	■ツールⅨ：その他Ⅰ～Ⅷに分類できないもの物品・設営、掲示物	

	訓練企画者が使用する資料	訓練参加者が使用する資料
訓練キットそのものの説明	ツールⅠ（訓練キットに関する資料） 資料① 取扱い説明書	
事前準備段階	ツールⅡ（訓練企画者、訓練参加者の両者に提示する資料） 資料② 訓練概要	
	ツールⅢ（参加者に事前提示しない資料） 資料③ 訓練事務局用準備ガイド	ツールⅣ（訓練参加者が、訓練前に事前学習しかつ訓練中に用いる資料） 資料④ 負傷者カード 資料⑤ 応急救護班行動フロー 資料⑥ 情報連絡班行動フロー
訓練進行/実施のためのツール	ツールⅤ（訓練企画者が進行に用いる資料） 資料⑦ 訓練進行書	
	ツールⅥ（訓練参加者の訓練中の行動の評価に用いる資料） 資料⑧ 応急救護班 リーダー 評価シート 資料⑨ 応急救護班 班員 評価シート 資料⑩ 情報連絡班 リーダー 評価シート 資料⑪ 情報連絡班 班員 評価シート 資料⑫ 検証結果表	
振り返り段階	ツールⅦ（デブリーフィングの進行に用いる資料） 資料⑬ デブリーフィングガイド	ツールⅧ（気づきや参加者自身による評価に用いる資料） ※ ツールⅣを兼わる
その他	ツールⅨ（その他Ⅰ～Ⅷに分類できないもの） 物品・設営、掲示物	

図10 自衛消防訓練への適用例

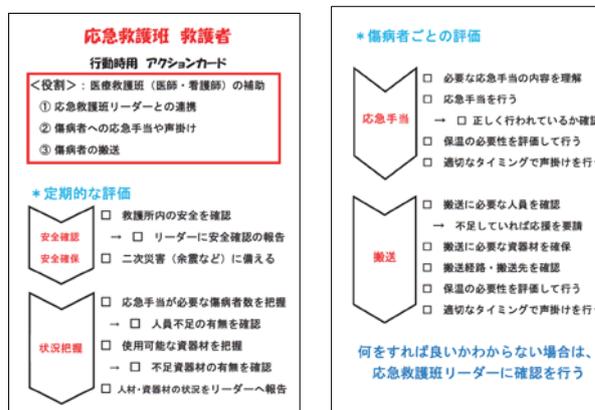


図11 応急救護班行動フローの例

一時滞在施設開設キット（図 12）は、マニュアルにある施設運営に必要な作業（施設の安全確認、運営要員の参集、帰宅困難者の受入準備、施設の開設・受入、帰宅困難者対応、施設の運営状況等の現地本部との共有、交通機関の再開状況の共有、閉鎖準備・閉鎖）と備品・帳票類等を基本にパッケージ化した。一方、現地本部立ち上げキット（図 13）は、現地本部訓練の参加者からの意見を反映して本部設営に重点をおいた仕様になっているが、現地本部運営に必要な作業と備品・帳票類をパッケージ化した点は同様である。試作した2つのキットは、2018年11月実施の現地本部訓練、2019年1月の一時滞在施設訓練に適用した（図 14）。結果としては、2つのキットともに、それぞれの訓練参加者のアンケートからキットの有効性について高い評価を得ることができた。一方、注意を促す掲示物のサイズや帳票類、備品の見直しなどの改善点も確認できた。



図 12 一時滞在施設開設キットの外観・内容物の例



図 13 現地本部立ち上げキットの外観・内容物の例



図 14 一時滞在施設訓練（左）と現地本部訓練（右）の様子

2. 3 4年度：訓練等によるプロトタイプのブラッシュアップと効果検証

4年度となる2019年度は、11月に実施した現地本部訓練および一時滞在施設訓練において、災害対応拠点運営のためのマニュアルとキットの効果検証を行った。また、新宿駅周辺防災対策協議会では、現地本部と周辺事業者等との情報連携手段の1つとしてエリア災害対応支援システムを「滞り者等誘導マニュアル」に位置づけ、訓練に活用した。

また、情報共有と滞留者誘導のための情報発信へのドローン・情報技術を活用した実験については、2019年12月の新宿区災害対策本部訓練と連携して実施し、この仕組みの効果を検証した。

そして、高層ビルでの震災対応を想定した自衛消防訓練キットについては前年度の評価を踏まえて改良し、専門家へのヒアリングにて有効性を検証した。

以下、上記の順で2019年度の成果を報告する。

(1) 訓練によるマニュアル・キットの効果検証

① 訓練概要

本訓練は、11月8日（金）午後、東京都心南部を震源とする地震（新宿は震度6弱）が発生したとの想定のもと、現地本部訓練と一時滞在施設訓練を同時並行で行い、避難場所、現地本部、一時滞在施設の3会場の連携を含めた合同訓練として実施した（図 15）。

訓練参加者は、3つのグループに分かれて訓練に参加した。第一のグループは、現地本部の運営者役（12名）として現地本部訓練に、第二のグループは、一時滞在施設運営者役（30名）として一時滞在施設運営訓練に、そして第三のグループは、新宿周辺で被災し行き場のない帰宅困難者役（52名）として現地本部の指示に従って一時滞在施設へ移動し、一時滞在施設に一定時間滞在するという役割で、それぞれ参加した。訓練には、新宿駅周辺防災対策協議会参加団体等より



図 15 訓練の全体像の概念図

94名（運営参加者を除く）の参加のほか、多数の団体等の協力を得た。

② 現地本部訓練

現地本部訓練は、現地本部を中心とする関係機関等との情報連絡やエリア内での情報共有を行い、新宿ルール実践のための行動指針の検証を目的として実施した。訓練方法は、訓練で決めた担当になりきり、実際の通信機器（防災無線、災害時優先電話、エリア災害対応支援システムなど）、現地本部立ち上げキット、マニュアルを活用し、現地本部運営を模擬体験するロールプレイング方式で行った（図16、図17）。訓練にあたり、前年度の課題を踏まえ、ビル名や番地等を入れた周辺地図、災害対応の優先順位をつけたTODOリストの作成など、マニュアルや様式の改善を行った。訓練参加者12名によるアンケートから、キットやマニュアル・様式の使いやすさ、とるべき行動のわかりやすさについては高い評価を得た。これらを活用した訓練についても災害対応のイメージ構築や災害対応力の向上に有用だという評価であった（図18）。

③ 一時滞在施設訓練

一時滞在施設訓練は、地震発生により行き場を失った多数の帰宅困難者が避難場所である新宿中央公園に避難しているとの想定のもと、発災数時間後以降の場面を設定して実施した。訓練参加者は、一時滞在施設運営者役と帰宅困難者役に分かれ、また、同時並行で行った現地本部訓練とも連携し、一時滞在施設の開設、帰宅困難者の受入、滞在中の帰宅困難者への各種サポート（情報提供、問合せ対応）、現地本部との連携（現地本部からの情報収集、現地本部への報告）、一時滞在施設の閉鎖までの一連の流れを検証した（図19）。訓練では、掲示物等の大きさをA4からA3、A3からA1に改善や備品の見直しを行った一時滞在施設開設キットを活用し、一時滞在施設運営マニュアルとともにキットの効果を検証した。

訓練参加者20名によるアンケートから、キットやマニュアルは一時滞在施設運営の支援に役立つという回答が多いが、キットについては多言語表記や個人情報情報の取り扱いなど改善が必要な課題が明らかになった（図20）。

(2) 情報共有と滞留者誘導のための情報発信へのドローン・情報技術の活用

本年度は、これまでの検証実験の成果を踏まえ、新宿区災害対策本部訓練と連携して実験を行い、複数地点から現地本部を介して新宿区に対する実践的な情



図16 現地本部訓練の様子



図17 エリア災害対応支援システムを利用した情報連携の様子

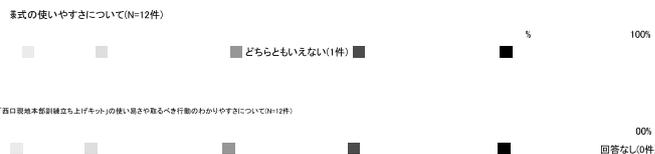


図18 訓練参加者によるアンケート結果（抜粋）



図19 一時滞在施設訓練の様子（左上：キットを使った役割分担、右上：受入ルールの掲示、左下：帰宅困難者の受付、右下：帰宅困難者の受入）

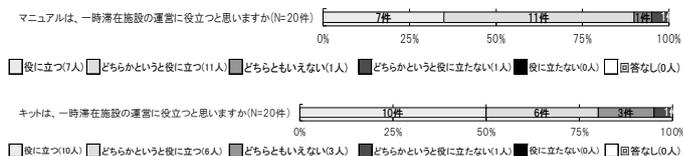


図20 訓練参加者によるアンケート結果（抜粋）

報提供、及び新宿区的意思決定に応じた地域への情報発信の両面について実効性を検証した。実験は、2019年12月13日（金）午後実施し、複数の遠隔拠点（避難場所：中央公園、芸能花伝舎）におけるドローンを活用した情報収集・情報提供、遠隔拠点（西口現地本部：工学院大学）からの滞留者への情報発信、さらにドローン探知機による近隣地帯の確認や超高層ビル街区の複雑な気流を捉えた気象情報の提供についても検証した（図21）。実験の結果、新宿区からは、ドローンの映像によるリアルタイムな滞留者状況の把握、スピーカーからの滞留者への情報伝達、新宿区災害対策本部からドローン操作の指示といった、ドローンを活用したエリア災害対応の有用性について評価を得た。一方、情報伝達の指揮命令系統を明確にすることや、上空からの滞留者誘導は特定のグループを誘導（例：一時滞在施設に特定の人数を誘導する）することに適していないため汎用的な案内に留まること、ドローンが都市部に位置する新宿区の災害時応急活動にどのように使用できるのかは新たな提案が必要であるといった意見があった。

これまでの4年間の検証から、現地本部を中心とする災害時の情報収集及び滞留者誘導、新宿区災害対策本部との情報共有に、ドローンや情報通信技術の活用効果を確認することができたと考える。しかし、ドローンが効果的に活用できる条件や場面（気象条件、被害程度、機材、専門性）については改めて整理する必要があるとともに、機材等の維持管理の問題などは今後の課題である。

(3) 高層ビルでの震災対応を想定した自衛消防訓練ツールの開発

前年度の課題を踏まえ、自衛消防訓練キットを改良

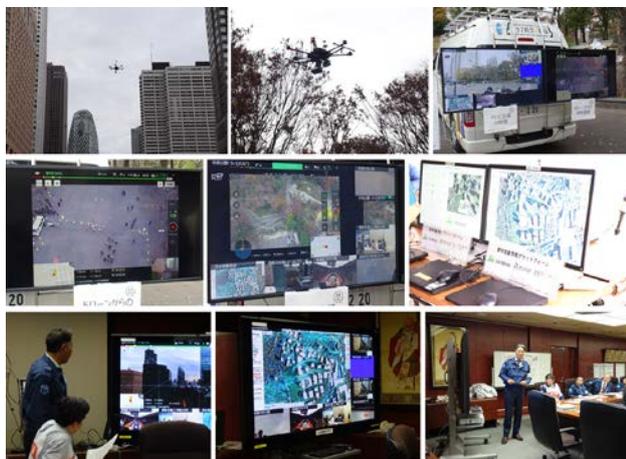


図21 実験の様子（上段・中段：中央公園での情報収集・情報発信、下段：新宿区災害対策本部内でのドローン映像による状況把握）

した。フレームワークを図22のように見直すとともに、防火防災管理者でも手軽に自衛消防訓練の企画・準備、実施、振り返りが出来るよう工夫した（図23）。また、自衛消防組織の全ての班が同時に活動する訓練や、特定の班のみが活動する訓練など、訓練の規模をニーズやスキルに応じて調整もできる。さらに、実働訓練だけでなく図上演習にも対応した。

「訓練準備」では、主に訓練を開始するまでの段取、望ましい準備などを解説している資料である。たとえば、図24は自衛消防訓練中のアクションを全員共通、

フェーズ	使用目的	訓練企画者が使用	訓練参加者が使用
① 訓練準備	自衛消防訓練キットの理解	ツールⅠ（訓練キットを理解する資料） 資料00_自衛消防訓練キット概要 資料01_解説+かんたん使い方マニュアル	
	訓練内容の企画設定 事前説明	ツールⅡ（訓練企画者が訓練想定や内容を事前に設定するための資料） 資料02_訓練事務局用 事前準備ガイド	
		ツールⅢ（訓練企画者が訓練参加者に企画実施する訓練内容を説明するための資料） 資料03_訓練実施概要 資料04_各班の行動フロー	
② 訓練実施中	訓練進行	ツールⅣ（訓練企画者が進行に用いる資料） 資料05_訓練進行書 資料06_評価シート	ツールⅤ（訓練参加者が訓練中に用いる資料） ファイル名でフォルダ名で資料分類。各班のアクション、備置類を格納している。注）各フォルダ内の格納類は、企画者が参加者の人数分格納する等の事前の対応が必要となります。 資料07_全員共通 資料08_地区隊隊長 資料09_全急救助班 資料10_安全防護班 資料11_避難誘導班 資料12_初期消火班 資料13_通報連絡班 資料14_本部隊
	行動評価		
③ 訓練振り返り	振り返り進行	ツールⅥ（訓練企画者が振り返りの進行に用いる資料） 資料15_検証結果集計表 資料16_振り返りガイド	
	自己評価		ツールⅦ（訓練参加者が気づきや参加者自身による評価に用いる資料） ※ ツールⅢ内の各班のフローに記載がある

図22 改良した自衛消防訓練のフレームワーク



図23 改良した自衛消防訓練キットの構成

時間経過（目安）	目的	資料07 全員共通
地域防災中 ～地域防災準備	基本アクション	(1) 全隊隊員 a. 総隊員集合
発生直後～10分	各班に役割を 活動手順	資料08 隊長
		資料09 総隊員選別
10分～20分	火災発生	資料10 安全誘導
		資料11 避難誘導班
20分～40分	消火完了 (or火災止)	資料12 初期消火班
		資料13 通報連絡班

図24 訓練メニュー表

各班に分類したものであるが、企画する訓練に応じて必要な資料を取り出し、事前準備を進めることができる。また「訓練実施中」には、自衛消防訓練に求められる役割に応じたアクション（図25）、帳票類（図26）、評価に関する資料など、机上訓練や実働訓練を行う際に、主に訓練参加者が活用する資料を収納している。そして「訓練振り返り」では、訓練中に評価者がチェックした評価シート（図27）から、各班の評価点が計算できる。そして、訓練参加者に各班の行動フローの自己チェック欄で自己評価も行うことができる。2019

年3月に新宿駅西口の高層ビル防災担当者2名へのヒアリングを行い、概ね良好な評価を得ているが、実際の図上演習・実働訓練にはまだ適用できていない。現在、東京消防庁予防部防火管理課自衛消防係において図上演習・実働訓練への活用可能性について検証を進めているところである。

3. おわりに

次年度は、震災・水災、それらが複合した災害への対応を加速させるとともに、改善点が指摘されている、災害活動拠点運営支援キットや自衛消防訓練キットの改良を進める。そして、各種マニュアル・災害活動拠点運営支援キット・訓練支援キット、さらには様々な情報技術・ドローン・情報通信技術、地域が有するストックを統合し、地域が連携した効果的な災害対応を可能とするエリア防災計画として完成させる。

謝辞

本研究では、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（研究代表：久田嘉章）、新宿区の委託研究及びJSPS科研費17K01340（研究代表：村上正浩）の成果の一部を活用しました。本研究の推進には、柳田悠太郎君、麻生嵩紘君など多くの学生諸君の協力を頂きました。また、ドローンの検証実験では、チーム・新宿のほか、新宿駅周辺防災対策協議会など多くの企業の協力を頂きました。

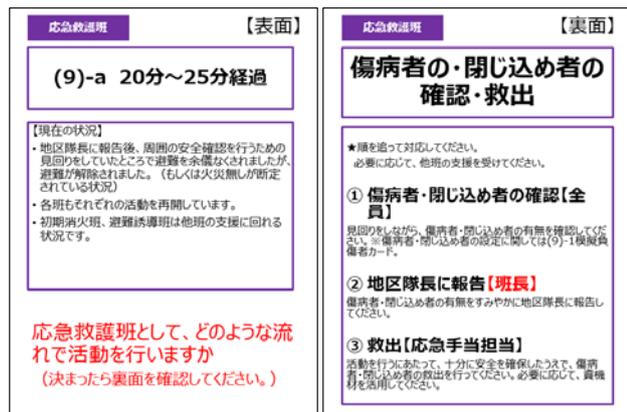


図25 訓練中に使用するアクションカードの例

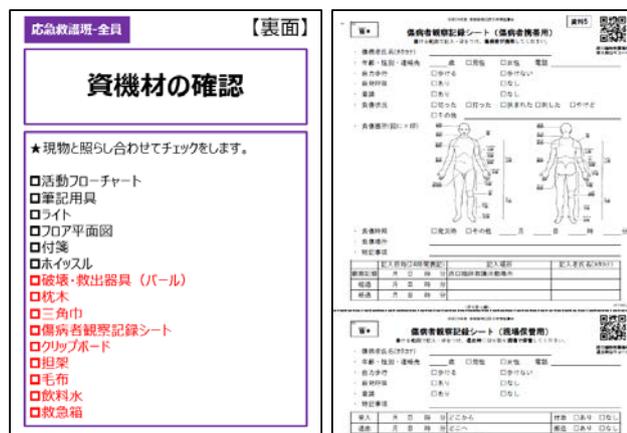


図26 訓練中に使用する帳票類の例

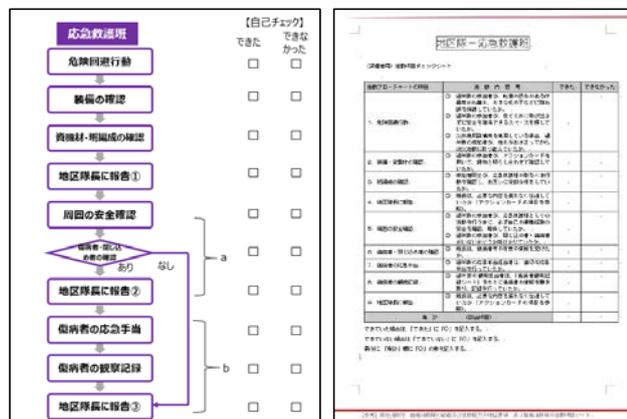


図24 訓練中に使用する評価シートの例

参考文献

- 1) 村上正浩、中心市街地の災害対応力向上のための教育・訓練プログラム—新宿駅周辺地域における実践事例—、危機管理レビュー、vol.9、pp.15-25、2018
- 2) 新宿駅周辺防災対策協議会：新宿駅周辺防災対策協議会西口地域報告書（閲覧日：2020年3月8日）
http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/ssa_bousai/wesreport.html
- 3) 村上正浩、久田嘉章、柳田悠太郎、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システムの開発、第15回日本地震工学シンポジウム論文集、pp.2228-2236、2018
- 4) 新宿駅周辺防災対策協議会：新宿ルール実践のための行動指針（閲覧日：2020年3月8日）
<https://www.city.shinjuku.lg.jp/content/000201845.pdf>
- 5) 鯉沢曜、久田嘉章、村上正浩、新藤淳、超高層テナントビルを想定した震災対応訓練と建物被害調査に関する研究 その1：自衛消防組織による震災対応訓練モデル、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp.1011-1012、2015
- 6) 村上正浩、避難所の開設と運営を支援する避難所開設キットの開発、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、pp.885-886、2016
- 7) 新藤淳、村上正浩、廣井悠、市居嗣之、宮田桜子、黒目剛、虎谷洗、新宿駅周辺地域における帰宅困難者一時滞在施設開設支援手法の開発、日本地震工学学会論文集 特集号「第15回日本地震工学シンポジウム」その2、19/6、pp.6_296-6_305、2019
- 8) 金山直司、村上正浩、田村雅紀、新藤淳、北郷陽子、新宿駅周辺地域における大規模震災対応へのドローン実装の取組み、第15回日本地震工学シンポジウム、pp.3072-3081、2018
- 9) 田村雅紀、村上正浩、金山直司、新藤淳、新宿副都心のエリア防災に活用するドローン技術・システム、コンクリート工学 特集 UAV(ドローン)技術の現状とコンクリート構造物への適用、57/9、pp.726-732、2019
- 10) 東京消防庁、自衛消防隊の組織編成基準及び予測活動限界時間を活用した自衛消防訓練実施基準等（閲覧日：2020年3月8日）
<https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/hp-sidouka/jieishobo.html>

自衛消防隊訓練 VR コンテンツおよびビル壁面の傷領域自動検出手法の開発

キーワード：VR，自衛消防隊，訓練，動画像解析，壁面ひび検出 福田一帆* 雨車和憲** 村上正浩***

1. はじめに

都市災害においては、人の行動や情報の迅速な把握が被害状況に大きく影響をおよぼすことが想定される。災害への有効な危機対応モデルを構築するためには、人々の行動や心理を理解した上で危機対応モデルを作成すること、被災状況や災害時の人々の行動を速やかに把握することが重要である。

本稿では、情報技術を利用した都市災害の対応モデル・訓練ツールの検討・開発の今年度の取り組みとして、VRを利用した自衛消防訓練コンテンツの開発、ドローンによって撮影されたビル壁面映像からの傷領域自動検出手法の開発について報告する。

2. 自衛消防隊訓練 VR の開発

自衛消防組織は主に建物を利用する事業所の構成員から組織され災害時の初期活動を行う。特に大地震などによる大規模災害発生時は、救助、医療、建物被災度判定などが行き渡るまでの自衛消防活動の働きは大変重要である。各事業所でも自衛消防訓練を実施しており、工学院大学においては、以前より自衛消防訓練実施方法の構築、普及などに取り組んでいる^[1-3]。しかし、自衛消防訓練の課題として、事業所ごとの訓練の質や方法に乖離が生じていること、平時における訓練のみで自衛消防訓練の意義や効果を十分に実感することは難しいこと、訓練効果の検証が難しいことなどが挙げられる。

本研究では、自衛消防訓練実施方法としてVR技術に着目した。近年、VR技術は災害を体験するためのツールとしても盛んに利用されている。その内容は、災害の被害状況の仮想体験、災害時対応の訓練^[4-5]などが主である。また、災害時や避難時の人の認知行動特性に関する研究も行われている^[6-8]。これらは、VR技術の、再現が困難な状況を高い臨場感で安全に体験ができ、同じ状況を繰り返し再現できるという利点を生かしたものであるといえる。これらの利点から、自衛消防活動の訓練においてもVR技術は有用と考えられるが、現状十分に利用されていない。

そこで、工学院大学では株式会社理経と協力して、自衛消防訓練初級者を主なターゲットとし、災害時の自衛消防隊の役割を体験可能なVRコンテンツ「自衛消防隊訓練体験VR」を開発した。本VRは、非常時に活動できる自衛消防隊の育成を目的としたものであり、自衛消防隊における、初期消火班、応急救護班、避難誘導班、通報連絡班、安全防護班の各班の基本的な役割を体験可能としている。体験者はVR空間を自由に移動することが可能であり、自身の判断に基づいて次の行動を選択することができる設計により教育要素を高めている。また、体験者毎のログデータを蓄積することができ、隊員活動における判断ミスや見落とし等の傾向を分析することが可能である。

自衛消防隊訓練体験VRは、PCに接続したVRヘッドセットを用いて視聴覚の情報呈示による訓練を行う。開発環境は、3ds Max 及び UnrealEngine4 を用いた。体験者はVRヘッドセットを装着し、体験VR起動後のタイトル画面で、5つの班から訓練を行う班を選択する（図1）。VR体験中は体験者の頭部移動がVR映像の視点に反映されるため、周囲を見回す、机の下に屈み込むなどの動作が可能である。

訓練は、すべての班に共通して仮想のオフィスの一室で大規模地震が発生する場面から開始する（図2）。次に場面が廊下へ遷移し、ナレーションにより選択した班の隊員として隊員活動を実施するように指示がされる。体験中は仮想オフィスの1フロア内を自由に移動可能な仕様であり、移動はコントローラーの方向キー操作、実際の歩行による移動、床面に配置されたマーカー（図3）の選択による不連続な移動が可能である。

体験者はコントローラーを用いて仮想空間内の適切なオブジェクトを選択することで、機器の使用、ドアの開閉（図3）、障害物の除去といったイベントを発生させることが出来る。イベントを完了すると1回の訓練が終了となり、最後に訓練を補足するためのナレーションが再生される。

* : 工学院大学情報学部情報デザイン学科, ** : 工学院大学情報学部コンピュータ科学科
*** : 工学院大学建築学部まちづくり学科

体験中の行動は、廊下と各部屋間の移動時およびオブジェクトの選択時にログデータとして時系列順に蓄積される仕様となっている。これにより、今後、体験者の行動パターンの分析、体験者へのフィードバック等の実施が可能である。



図1 体験の様子とタイトル画面

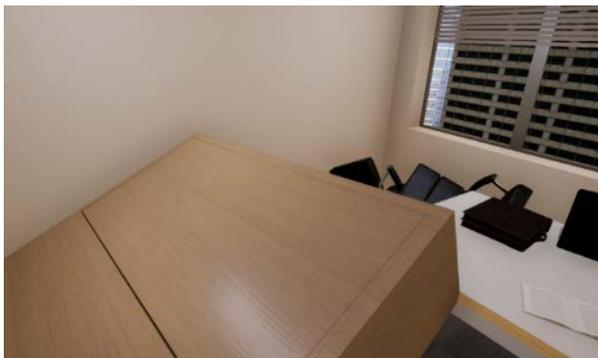


図2 地震に被災した場面の体験映像

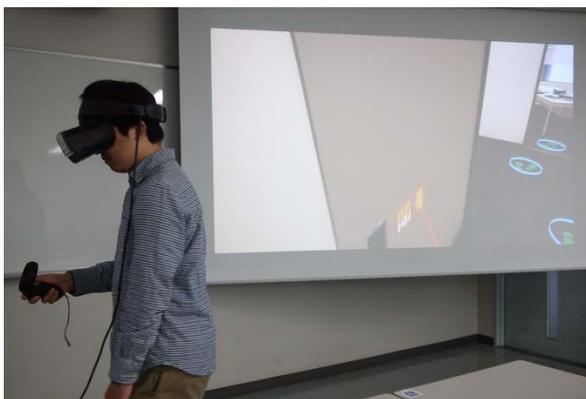


図3 コントローラー操作により扉を開けた様子
と床に表示されている移動のためのマーカー

自衛消防隊訓練体験 VR の各班の訓練内容を構築するにあたり、ログデータの取得による体験者への

訓練の評価を行う為、評価の指標となる各々の評価すべき重要な活動内容を抽出した（表1）。その内容は自衛消防訓練活動フロー^[2]に基づき体験時間を考慮して再構築したものである。

表1 訓練 VR の役割と内容の抽出

役割	評価に繋がる訓練内容
初期消火班	<ul style="list-style-type: none"> ・火災の確認 ・消火器の携行 ・初期消火の実行 ・消防・防火設備の確認 ・地区隊長への報告
応急救護班	<ul style="list-style-type: none"> ・負傷者の確認 ・応急手当は適切か ・負傷個所の聞き取り ・地区隊長への報告
避難誘導班	<ul style="list-style-type: none"> ・避難経路の確保 ・逃げ遅れの確認 ・安全な方向への誘導 ・地区隊長への報告
通報連絡班	<ul style="list-style-type: none"> ・出火場所の確認 ・出火報告を行ったか ・本部隊への報告 ・地区隊長への報告
安全防護班	<ul style="list-style-type: none"> ・被害状況の確認 ・被害の記録を行ったか ・地区隊長への報告

初期消火班では、フロアを探索し火災の有無の確認、火災を発見した場合はその規模に応じて消火、防火扉の閉鎖、避難といった対応等のイベントが用意されている。

応急救護班では、フロアの要救護者有無の確認、要救護者の出現、救助、傷病者観察記録シートの表示と記録案内などのイベントが用意されている。

避難誘導班では、フロアにて逃げ遅れた者の有無の確認を行う。逃げ遅れた者の出現、障害物の除去、逃げ遅れた人の救助を行い、適切な避難経路への誘導を行う等のイベントが用意されている。

通報連絡班では、フロアの被害状況の確認、小規模な火災の発生、被害に応じた適切な通報手段の選択などのイベントが用意されている。

安全防護班では、フロアの建物被害を探索し、壁面のひび割れ、天井の脱落などの被害箇所を選択していく中で、被害箇所の表示、建物被害チェックシートの表示と案内などのイベントが用意されている。

いずれの班もフロア内を全て確認して、地区隊長を選択すると報告が実施されたものとして、体験が終了する。体験終了時には、訓練の補足説明などの

ナレーションが再生される。

開発した自衛消防隊訓練 VR は、2019 年 11 月 13 日の「新宿防災ウィーク 2019」体験型イベント、2019 年 12 月 12 日「映像情報メディア学会冬季大会企画セッション VR/AR を支える要素技術のデモ展示」、2020 年 2 月 6 日～7 日「令和元年度震災対策技術展」にて体験展示をおこない、合計 62 名への体験者アンケート調査を実施した（図 4）。なお新宿防災ウィークでは、初期消火班のみ体験可能であり、VR 体験中の体験者への情報提示は音声ナレーションではなく文字による画面提示であった。

表 2 は体験展示でのアンケート結果をまとめたものである。回答は各設問に対し 1～5 の選択肢からの選択方式および自由記述であった。選択肢は表には 1 および 5 のみ記述してあるが、その他は全設問とも 2 および 4 は「やや〇〇である」、3 は「どちらともいえない」であった。おおむねポジティブな回答、自由記述であった。体験デモ展示の実施およびアンケート結果を分析した結果、主な課題として挙げられたのは、体験者により VR 空間内の操作や部屋の配置の把握に難しさを感じる場合があったこと、周囲の雑音の影響や操作に気を取られることにより音声ナレーションが聴きづらかったことであった。

表 2. 体験者アンケートの設問と回答の平均値

設問（カッコ内は選択肢）	平均値
Q1. 本日の VR 体験はいかがでしたか？（1：良くなかった～5：良かった）	4.53
Q2. VR の体験を通して実際の訓練のイメージは出来ましたか？（1：出なかった～5：出来た）	4.39
Q3. 体験した班の「役割」は理解出来ましたか？（1：出来なかった～5：出来た）	4.48
Q4. 体験した班の「活動内容」は理解出来ましたか？（1：出来なかった～5：出来た）	4.54
Q5. 体験した班の「活動手順」は理解出来ましたか？（1：出来なかった～5：出来た）	4.44
Q6. 訓練のシナリオは適切でしたか？（1：適切でなかった～5：適切だった）	4.14
Q7. 音声によるナレーションは分かりやすかったですか？（1：分かりにくかった～5：分かりやすかった）	4.00
Q8. VR は全体的に見やすかったですか？（1：見づらかった～5：見やすかった）	4.29
Q9. VR の操作は容易に出来ましたか？（1：出来なかった～5：出来た）	4.23
Q10. 記録された情報は傾向の分析に活用できると思いますか？（1：出来ない～5：出来る）	4.56
Q11. VR は自衛消防訓練に活用できると思いますか？（1：出来ないと思う～5：出来ると思う）	4.50

※新宿防災ウィークでは体験者アンケートの Q7 の設問は「画面に提示された情報は分かりやすかったですか？」であり、Q10 は設問に含まれていなかった。



図 4. 新宿防災ウィークでの体験展示の様子

これらの体験デモ展示およびアンケート結果からの課題への対応として、訓練効果を高めるには、基本的な VR の操作に慣れていない体験者にはチュートリアルを用意する、VR 空間の部屋の配置の平面図を事前に提示するなどを検討する必要がある。また、体験における情報提示方法については、開放された空間でのイベント等ではなく個別の体験環境であれば音声の聴きやすさは改善すると考えられるが、VR の操作に集中することにより音声に意識が向かないことについては、文字と合わせた情報提示、VR 体験前後の補完教材などを組み合わせて必要な情報提示を検討する必要がある。（福田）

3. ビル壁面の傷領域自動検出手法の開発

大都市における災害後、迅速な都市機能復旧のために、各高層ビルの被害の度合いをいち早く確認する必要がある。通常、専門家がビル壁面に生じる傷を目視で確認し、その位置や状態から被害の度合いの判断を行う。しかし、大都市災害においては多くの高層ビルが同時に被災するために、この作業の効率化が望まれる。そこで本研究では、ドローンによってビルの壁面映像を撮影し、壁面に傷が生じているかの自動判定を行う手法の実現を目指す。

類似研究として、道路や橋の整備を対象としたコンクリートのひび割れ検出技術が研究されている。しかし、ビル壁面は道路や橋と異なり、ビルごとに特有の模様が存在するため、ビル壁面に特化した傷の自動検出技術が求められる。

本研究では、ビル壁面画像のモデル化を行い、モデルから逸脱した領域が傷であると判断する手法を提案する。観測のビル壁面画像を X とし、 X はビル壁面の模様を表す画像 Y 、およびそこに後から生じ

た傷画像 Z の足し合わせで表現されると仮定する。
このとき、 $X=Y+Z$ の方程式を考え、観測 X から Y と Z を分離する方法を提案する。

壁面の模様はビルごとに異なるが、どのような模様であっても多くの場合に周期的な図形の繰り返しであると考えられる。そこで、周期的な波形を表現可能な自己回帰モデルを用いて Y が十分に近似されると仮定する。また一般にビル壁面の傷は、画像全体に存在するのではなく、一部分にのみ存在するため、 Z はスパース性（疎性）を有すると仮定する。以上の二つの仮定より、制約条件付きスパース最適化問題としてビル壁面の傷検出問題を定式化し、スパース最適化アルゴリズムを適用することにより解を推定、観測画像 X から Y と Z を分離する。

図 5 に示すように観測 X から傷領域 Z を検出でき、傷の有無や範囲、位置などの情報を自動で得ることができる。ただし、図の傷領域画像は傷領域を二値化して表示を行っている。また、70 枚のビル壁面画像を用いて、傷の有無の自動判定を行い、傷がある画像を傷ありと判定できるか、および傷なしの画像を傷なしと判定できるかの実験を行い、いくつかの手法との比較を行った。結果として、従来手法では 60% 前後の正解率であるのに対し、提案手法では 83% の正解率を実現している。

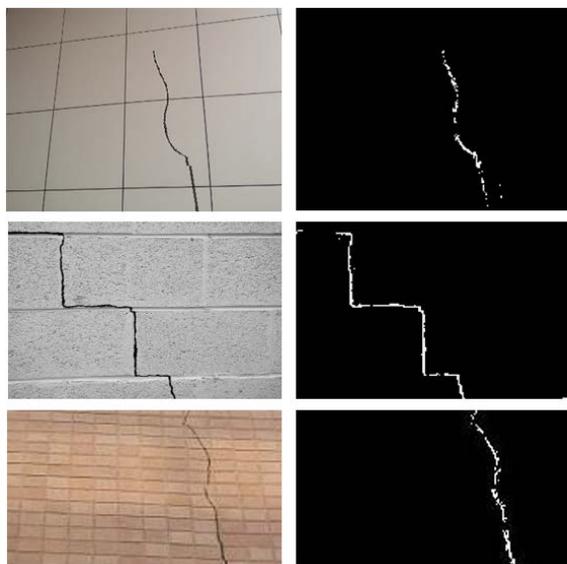


図 5. ビル壁面画像(左)と検出した傷領域(右)

本手法で用いる自己回帰モデルにはいくつかのパラメータが存在しており、経験上ビルの模様によって最適な値が異なっている。このパラメータを適切に設定することができれば、上述の正解率はさらに

大幅に改善する見込みである。パラメータの決定方法については、既に数理的な解決手法が議論されており今後はそれらの手法の導入を検討している。

また、昨年度から引き続き、ドローンがビル壁面のどの位置を撮影しているのかを映像から自動で判断する撮影位置推定手法に関する研究を進めている。
(雨車)

4. 今後の計画

自衛消防隊訓練 VR については、開発した VR コンテンツを用いて実験をおこない、体験者の属性ごとの体験ログデータの分析、体験中および体験後の生体計測データの取得分析などにより、訓練効果の評価検証を実施する予定である。また、ビル壁面の傷領域自動検出手法の開発については、研究の完成により、ビル壁面において、どのような傷がどの位置に存在するのかを自動的に与えるシステムの完成を目指す。
(福田・雨車)

謝辞

本稿に報告する研究の一部は、工学院大学建築学部 4 年の小林崇浩さん、関俊介さんが実施したものである。ここに記して謝意を表する。

文 献

- [1] 新宿駅周辺防災対策協議会：平成 29 年度新宿駅西口地域地震防災訓練報告書，pp.1-73、2018
- [2] 新宿駅周辺防災対策協議会：平成 30 年度 6 月 29 日、新宿駅周辺防災対策協議会-講習会-「自衛消防組織の震災対応活動講習会」、2018
http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/ssa_bousai/pdf/H30/10/h30_0629_lecture1_2.pdf (参照 2019-11-21)
- [3] 新藤、村上、廣井、市居、宮田、黒目、虎谷：新宿駅周辺地域における帰宅困難者一時滞在施設開設支援手法の開発，日本地震工学会論文集，19(6)，p. 6_296-6_305，2019
- [4] 板宮、吉村：複合現実による災害想定没入体験アプリ DisasterScope の開発と避難訓練における活用，日本災害情報学会誌 災害情報，No.16-2，pp.191-198，2018
- [5] 株式会社理経：避難訓練 VR-体験型 VR 訓練ソリューション「RIVR-D シリーズ」<https://www.rieki.co.jp/product/611/> (参照 2019-11-20)
- [6] 安福：没入型避難シミュレータによる避難経路把握の分析，図学研究，42(2)，pp.71-76，2010
- [7] Chiewchengchol, Koga, Hirate : Development of an Evacuation Simulator using a Walkthrough System and Research on Evacuation Behavior in the Case of Fire, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 10(1), pp.101-108
- [8] 保谷、福田：VR による火災避難体験時の行動特性と精神負荷ストレスに関する研究，映像情報メディア学会技術報告，43(8)，pp.17-20，2019

大都市ターミナル駅周辺の余剰空間活用とストック更新にみる防災対応力の向上可能性

建築ストック，不燃化推進特定整備地区，附置義務低減
防災対策，用途変更

藤賀 雅人*

1.はじめに

本研究では、大都市ターミナル駅近隣（インナーエリア）に位置する木造密集市街地で進められる①ストック更新による防災性向上政策の効果と課題、②大都市ターミナル駅周辺に分布する余剰建築空間の防災対策への活用可能性評価、という2つの側面からエリア防災力向上の可能性と課題抽出を進めた。具体的には、東京都が取り組む不燃化推進特定整備地区（以下、不燃化特区）の実態調査による効果・課題の整理、駐車場附置義務低減に向けた地域ルール・審査を活用した整備台数検討の際の地域貢献策の位置付けと空間転用の要件整理を行なった。

2.過去4年間の成果概要

2-1.ターミナル駅近隣の密集市街地整備の効果と課題（2016-2017年度）

ここでは、危険度の高い木造密集市街地に導入された不燃化特区を対象として、導入区の助成制度の設定・運用方針と、建替え動向を報告することで、密集市街地整備におけるストック更新施策の実態と課題を明らかにすることを目的とした。

調査では、木造密集市街地の個別更新からくる環境変化が、点在建替え型、集中建替え型、隙間発生型に別れて発生していることを明らかにし、防災力向上に向けては、（i）個別更新を進めることを前提としつつも、更新後のビジョン形成と規制誘導計画策定に

向けた支援が必要である地域、（ii）空き地化した敷地をまちづくりに活用する検討が必要となる地域の2通りがあることを示した。また、ストック更新を前提とした際、助成制度として、地区ごとの助成要件の検討が必要であり、更新意欲の低く、空地化が進む可能性のある地区では、除却・設計費助成を統合し、建替え助成として運用を明確化すること。逆に更新意欲の高い地区では、建替えを前提としつつも、共同建築を対象を広げる際には除却助成、設計費助成を切り分け、除却助成のみ適用する場合と、小規模共同住宅に対する設計費助成のみ助成適用する場合など、指針を明確化が必要であることを指摘した。

2-2.ターミナル駅周辺の余剰建築空間の防災対策への転用可能性調査（2018-2019年度）

本調査では、東京都における附置義務駐車場低減の取り組みと、申請・審査の実態について把握を試みた。東京の地域ルールを活用した附置義務駐車場低減は、区の定めた係数を活用する場合、類似施設を選定する場合の大きく2つの算出方法が設定されており、実態に即した台数算出と安全値を選択する算出があることを把握した。新宿駅周辺地区は、積極的に削減を進める審査基準であるが、申請・審査を経ても地域の駐車場利用との齟齬が生じている実態が見られ、継続的な申請・審査を重ねる必要があること、加えて地域ルールの見直しを進める必要性が確認された。防災まちづくりへの活用に向けては、既存遡及の申請・審査が

表 1. 不燃化推進特定整備地区における空間変化



進むが、地区内の空地化が急速に進んでいる



写真 1. 西新宿地区の現状



図 1. 新宿駅西口地区の附置義務駐車場の分布

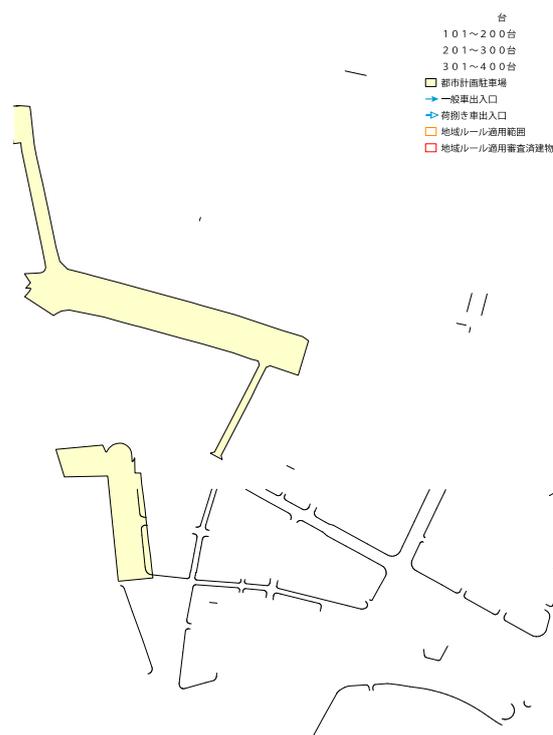


図 2. 新宿駅東口地区の附置義務駐車場と審査建物の分布

重要となるが、既存の駐車施設を低減した際の容積率の扱いなど、柔軟な用途転用に向けた、法制度の検討が必要とされている。こうした制度面の課題を克服する方法として、エリアマネジメント組織による低減空間の共同所有による災害備蓄備倉庫利用や防災設備置き場等の利用が位置付けられることを示した。

3.2019年度の成果

本年度は、上記にあるターミナル駅周辺の余剰建築空間の防災対策への転用可能性調査として、地域ルールを設定する中央区銀座地区・東京駅前地区、千代田区大丸有地区、渋谷区渋谷地区、新宿区新宿駅東口地区・同西口地区、港区環状2号線周辺地区の計7地区を対象とした附置義務低減申請審査の実態把握を行うとともに、新宿駅東口地区、同西口地区の附置義務駐車場の分布特性の把握を行った。これにより、地区レベルで余剰空間を活用する際の論点整理と活用可能性の高い具体的な建物立地の特定を進めた。

4.おわりに

以上、2つのアプローチから、既存ストックに着目したターミナル駅周辺の防災対策向上に向けた現状施策の実態把握と運用可能性の考察を行った。

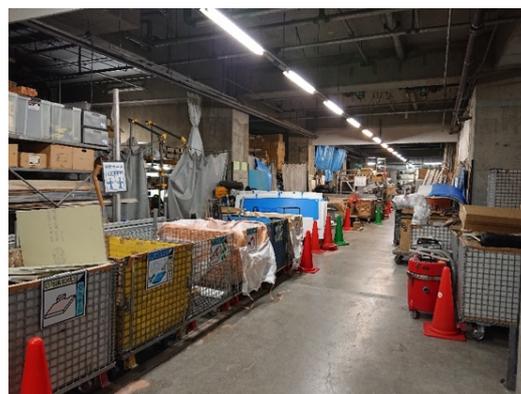


写真 2. 既存遊及審査による駐車場の転用事例

今後は、こうした状況を前提に、現状の防災対策との関係性整理を進め、余剰空間等の防災対策利用などの社会実装につなげることが課題といえる。

謝辞

本研究では、特別区担当課、地域ルール運用団体のみなさまにヒアリング・資料提供をいただいた。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 藤賀雅人, 二橋舜輝「不燃化推進特定整備地区における建替え助成制度の設定と運用」日本建築学会技術報告集, 第 59 号, pp. 383-387, 2019. 2
- 2) 加藤千恵子, 上原亮太, 藤賀雅人「東京都における附置義務駐車場低減に向けた地域ルールの設定と運用」日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 383-386, 2020. 3

長周期地震動を考慮した超高層建築の応答・被害予測と 対応支援システム「びるゆれコール」の開発

長周期地震動、超高層建築、応答・損傷予測、災害対応支援、応答スペクトル法

久田嘉章*、村上正浩

1. はじめに

近年、南海トラフ地震等の長周期地震動による超高層建築への被害が懸念されており、防災・減災のための事前のハード対策だけでなく、地震後に速やかに揺れや被害状況を把握し、適切な対応行動を可能とする事後のソフト的な対応策の推進が求められている¹⁾、²⁾。著者らは2018年度より工学院大学新宿校舎（28階建てS造）を対象として、防災科学技術研究所から得られた長周期地震動の予測・観測情報²⁾、³⁾をもとに、各階の長周期地震動階級・層間変形角等の推定結果をタブレット端末に通知する等により、適切な初動対応を支援するシステム「びるゆれコール」の開発を行っている。本システム開発は、アールシーソリューション株式会社と連携して実施している。

2. 長周期地震動を考慮した超高層建築の応答・被害予測と対応支援システム「びるゆれコール」

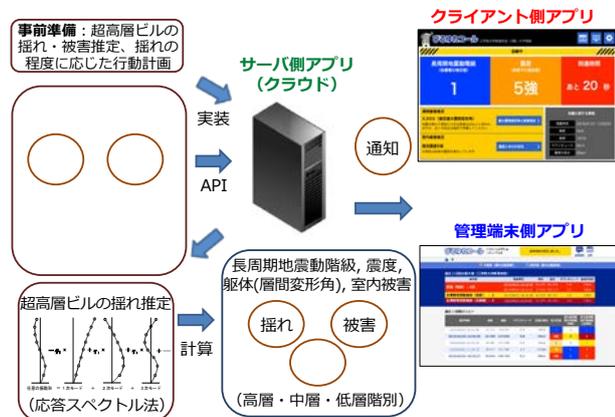
図1に「びるゆれコール」の概念図を示す。まずアプリ側サーバには事前に対象建物の構造種別や階数、固有周期・刺激関数・減衰定数、さらに被害程度の判断基準値（構造的被害の基準となる層間変形角、および、室内被害の基準値となる震度・長周期地震動階級など）の情報を登録しておく。次にアプリ側サーバは常に防災科研の長周期地震動指標APIにより予測・観測情報をモニタリングしており、地震時には対象サイトの応答スペクトル等の情報を速やかに入手する²⁾、³⁾。ここで予測情報とは、気象庁による緊急地震速報

図1 「びるゆれコール」の概念図

（震源データ）と長周期地震動の強震動予測式⁴⁾を用いて、250mメッシュごとに長周期地震動階級や絶対速度応答スペクトル等の情報である。一方、観測情報とはK-Net等による最寄りの観測データによる同様な情報である。

一方、対象となる超高層建築の応答・損傷予測として、地震時に更新される最新の予測・観測情報を用いて、建物各階の最大応答値や長周期地震動階級・震度（相当値）、層間変形角等の推定値をサーバにて計算し、その結果をタブレット端末に通知する。建物各階の応答値は、予測・観測情報による絶対速度応答スペクトルから応答スペクトル法よりサーバ側で計算する。今回対象としている工学院大学新宿校舎の1～3次の固有周期が約3、1、0.5秒であり、提供される長周期地震動の最小周期が1.6秒であるため、ここでは1次モードのみで計算を行う。刺激関数等は文献⁵⁾の経験式を用い、減衰定数は3%とした。

計算された建物の応答推定値は、タブレット端末でのクライアント側アプリに自動的に表示・更新される。図2は予測情報受信時の画面の一例であり、受信者がいる階（低～高層階）に対応した長周期地震動階級・震度（相当値）、揺れの到達予測時間、想定される層間変形角と震度等による構造・室内被害程度と、事前に計画した望まれる対応行動を促すメッセージが表示される（図3）。さらに観測情報受信時にも同様な情報が自動的に表示される。一方、図4は管理者用アプリの画面である。サーバにアクセスした観測情報による応答推定値を見ることができる。



* : 工学院大学建築学部まちづくり学科

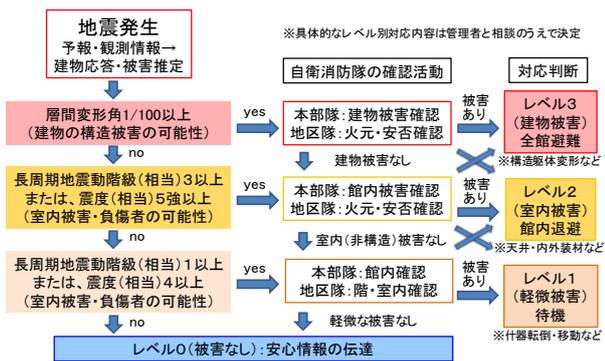


図3 推定被害とレベル別対応活動の例

3. おわりに

現在、開発アプリは工学院大学新宿校舎の地下階(防災センター)、中層階(法人事務室)、高層階(研究室)で試験運用している。今後、本学の施設管理者・防災担当者らとのワークショップを行い、本学に即した推定被害とレベル別対応活動の作成、活用方法の検討を進めていく。また、レベル別の訓練モードや南海トラフ地震への対応などシステムの改良を進め、一般ユーザーへの適用について検討する予定である。

謝辞

本研究は、官民連携研究開発投資拡大プログラム(PRISM)に基づき、防災科研が主催している公募研究「長周期地震動に関する観測・予測情報の利活用技術開発に関する研究」として実施しています。

参考文献

- 1) 内閣府、南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告、2015.12
- 2) 気象庁、長周期地震動に関する情報検討会・多様なニーズに対応する予測情報検討ワーキンググループ、報告書、2019
- 3) 防災科学技術研究所、陸海統合地震津波火山観測網「MOWLAS」(Monitoring of Waves on Land and Seafloor)
- 4) Dhakal, Y.P., W. Suzuki, T. Kunugi, and S. Ao, Ground Motion Prediction Equations for Absolute Velocity Response Spectra(1-10s) in Japan for Earthquake Early Warning, 日本地震工学会論文集、15巻、91-111、2015
- 5) 大宮憲司、久田嘉章、応答スペクトルを用いた超高層建築の簡易応答評価に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、pp.1011-1012、2014

[タブレット端末: 予測値受信時]

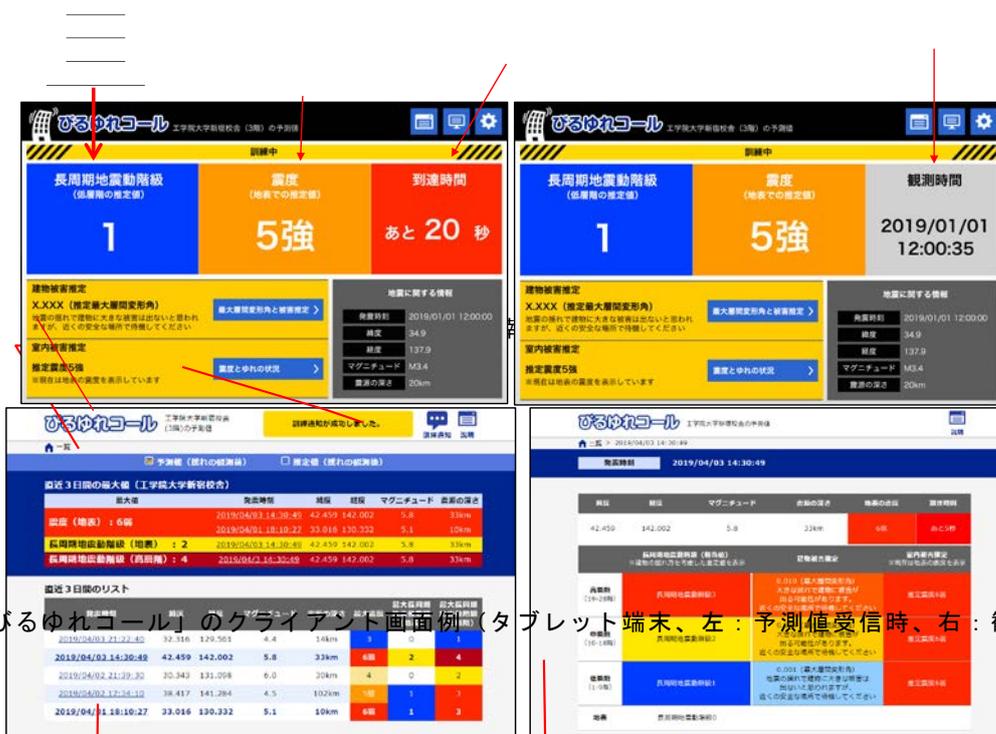


図2 「びるゆれコール」のクライアント画面例(タブレット端末、左: 予測値受信時、右: 観測値取得時)

直近3日間で発生した地震のうち以下の条件のいずれかに合致する情報を表示

- ・最大震度が震度3以上
- ・最大長周期地震動階級(地表)が長周期地震動階級1以上

高層階・中層階・低層階・地表(長周期地震動階級のみ) おおび、以下の情報を表示

- ・層別の長周期地震動階級(相当値)
- ・建物被害推定
- ・室内被害推定

図4 「びるゆれコール」プロトタイプの管理端末側アプリ画面(一覧: 過去の予測値・推定値一覧)