

株式会社NTTファシリティーズ 様

長周期地震動による超高層建物の揺れを深層強化学習AIで制御

地震の多い日本にあって、近年、超高層建物における「長周期地震動」が問題となっている。大きな地震に伴って建物が大きく長時間揺れるこの現象をいかに抑止するか。建築構造の専門家集団を有する株式会社NTTファシリティーズでは、この建物の振動制御技術に深層強化学習を用いたAIをいち早く導入し、新たな制振システムを実現している。

Interview

地震による建物の複雑な揺れの制御に「深層強化学習」を採用

「長周期地震動」について教えてください。

林 長周期地震動は2011年の東日本大震災で観測されており、東京でも超高層の建物で大きな揺れが長時間続く事象が問題となりました。揺れによって首都圏の高層建物内では家具や什器が転倒し、エレベーターが緊急停止するといった被害が発生しました。さらに震源から700km以上離れた大阪でも、ビル頂部が最大2.7m揺れたという報告もありました。この揺れで建物の構造躯体に大きな被害が生じることはありませんでしたが、入居者が大きな不安を感じたり、エレベーターの復旧に時間がかかるなどの被害が発生しました。我々のグループは、主に建物や通信装置の耐震技術を研究・開発しており、震災による被害を踏まえ超高層建物の長周期地震動による揺れを制御する新たな技術を開発したいと考えました。

揺れの制御に採用したのは、どのようなAIですか。

林 建物の揺れを抑える振動制御技術にはいくつか種類がありますが、我々が取り組んだのはアクティブ制御による制振技術です。具体的には、建物に粘性系ダンパーと連結した電動アクチュエータを取り付け、電動アクチュエータでダンパーを押し引きすることで建物の揺れを制御する仕組みです。本開発では、その押し引きの制御ルールの構築にAIを導入しており、今までにない優れた制振効果を得ることができました。これが今回の我々のチャレンジであり、この技術のポイントです。AIは当初、制御の正解データがない場合でも試行錯誤により効果的な振動制御ルールを学習する「強化学習」により開発を進めていましたが、地震とそれに呼応する建物の複雑な揺れを制御するために、強化学習にディープラーニングを組み合わせた最先端技術である「深層強化学習」を最終的に採用しています。深層強化学習で有名なAIには、2016年にプロの棋士を破った「アルファ碁」や、それが進化した「アルファ碁ゼロ」がありますが、今回の我々の技術はそれをいち早く実用化したものでもあります。

「振動制御モデルを開発 ⇄ 模型による実証実験」を繰り返す

システム開発のプロセスをお聞かせください。

千葉 開発は2016年7月にスタートしました。今回の技術開発には、振動制御モデル作成のためのAI技術、建物の挙動を忠実に再現するためのシミュレーション技術、実際の建物を制御するためのセンシングやアクチュエータなどのロボット技術、そして模型試験体で総合的な実証実験を行う振動試験技術、以上4つの技術を融合させて開発を進めました。



ファシリティ部門
建物ソリューション担当 主任研究員
構造設計一級建築士
技術士(建設部門)
林 政輝 様



ファシリティ部門
建物ソリューション担当 研究主任
構造設計一級建築士
千葉 大輔 様
(取材時)

PROFILE

株式会社NTT ファシリティーズ 様

ビルや建物の企画、設計、施工から、保守、運用、維持管理まで、ワンストップサービスを展開。ITとエネルギー事業、建築事業を融合させた省エネルギー建築設計のGreenITy Buildingやメガソーラー、長期間にわたる事業継続を実現する100年BCPなどのソリューションも提案。

この中でAI技術に関して我々には知見がなかったので、グループ会社である株式会社NTTデータに協力を依頼し、さらに深層強化学習について多くの知見を持つ株式会社NTTデータ数理システム（以下、数理システム）から協力をいただきました。

開発は、従来の制振構造に比べ揺れを50%減らすという目標設定をしましたが、AIによる制御は初めてトライする技術のため、我々には確証がありませんでした。そこで数理システムにて、最適化の手法により特定の地震波に最適な制御をした場合、どの程度の効果が得られるか事前検証しました。その結果、目標をクリアできる可能性があることが分かり、そこから強化学習や深層強化学習による開発を本格化させました。

想で良い傾向が得られるようになりました。数理システムの協力がなければ、この開発は実現できておらず、とても感謝しています。

実際の建物にはどのように適用するのですか。

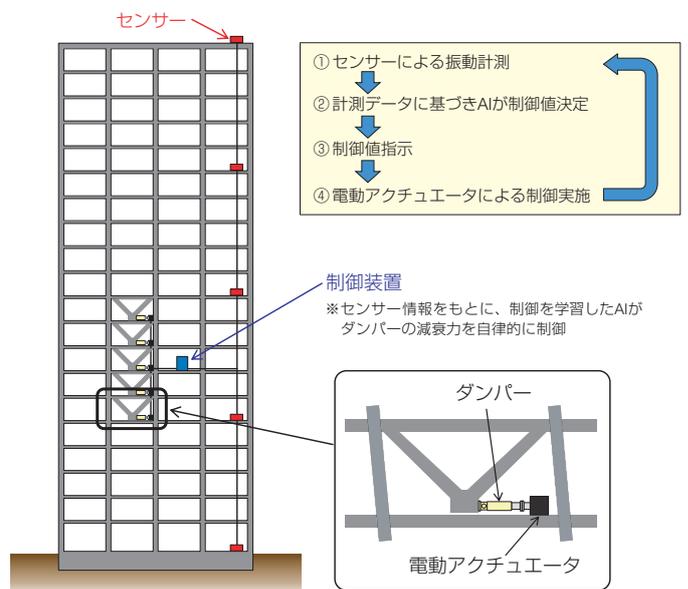
林 今回のシステムは、ダンパーと電動アクチュエータのほか、アクチュエータの制御装置（AI）、そして揺れを測る加速度センサーで構成されています。この技術では20階程度の建物に対して、ダンパーや電動アクチュエータなどの機器を5フロア程度設置すれば効果を得ることができます。現在（取材時）、コア技術の開発を完了しており、今後は全体システムとして信頼性を高める検証や、実際に導入・運用していくためのユーザーインターフェースの開発などを進める予定です。

深層強化学習によるAIは、どのように開発されましたか。

千葉 数理システムが作成した深層強化学習の振動制御モデルを用いて我々が振動試験で検証を行い、その検証結果を数理システムにフィードバックしてモデルをブラッシュアップするという役割分担で開発を進めました。我々は振動試験で建物が揺れている状況を見て「これは制御できていない動きだ」「こう動くようにしてほしい」といった要望を数理システムに伝え、それをもとに数理システムが深層強化学習を実施する報酬とペナルティの報酬関数を調整するなどのチューニングを行う、その工程を何度も繰り返しました。

また、数理システムは我々の要望に的確に答えてくれるだけでなく、改善のためのさまざまな提案も行ってくれました。例えば、データのバッチサイズを小さくして振動制御モデル開発のスピードを上げ、実験のサイクルを短縮したのもそのひとつです。深層強化学習のネットワーク構造に関しても、それまでとは逆にシンプルにした方がいいのでは、という提案がありました。非定常で予測ができない地震による建物の揺れは複雑なため、深層強化学習のネットワーク構造は複雑にならざるを得ないと我々は考えていましたが、この逆の発

今回開発したシステムの主な仕組み



現状での成果と、今後の展望をお聞かせください。

林 深層強化学習を活用することで、当初の目標を概ね達成することができました。それが大きな成果です。また2018年3月には、一般社団法人レジリエンスジャパン推進協議会より「長周期地震動から超高層ビルを守る人工知能（AI）を活用するアクティブ制振技術」としてジャパン・レジリエンス・アワード（強靱化大賞）の優秀賞をいただいています。建物の制振技術はこれまでさまざまな制御方式が開発されてきましたが、AI活用によるものは今回が初めてであり、しかもこれまでの制御理論では考えつかなかった制御ルールをAIが導き出してくれました。我々は制御技術の専門家ではないですが、今回数理システムの力を借りて新しい制御設計を実現できました。今後、別の分野や用途にもAIを活用して新しい手法や成果を手に入れたい、この体験を次の開発にも活かしていきたいと考えています。

長周期地震動波形に対する振動実験結果の例

