

氏名	もり やすなり 森 康成
授与学位	博士(学術)
学位記番号	学術(環)博第261号
学位授与年月日	平成30年9月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院環境科学研究科(博士課程) 先進社会環境学専攻
学位論文題目	木造家屋耐震性能評価における 3次元イメージングレーダ技術の応用に関する研究
指導教員	東北大学教授 佐藤 源之
論文審査委員	主査 東北大学教授 佐藤 源之 東北大学教授 高橋 弘 東北大学教授 陳 強 東北大学教授 石田 壽一 (工学研究科) (工学研究科)

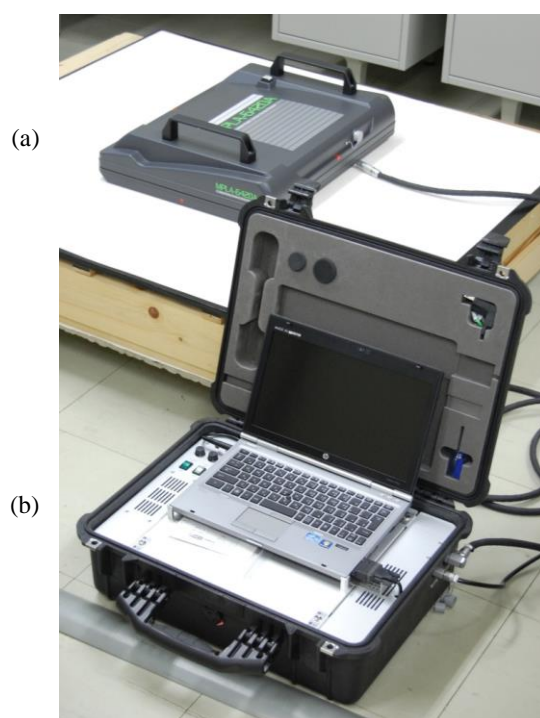
## 論文内容要旨

地震の多発する我が国において国内の戸建て住宅の大半を従来工法の木造住宅が占めている。その居住者が安全安心な住環境で暮らすためには、信頼性の高い木造住宅の耐震診断が必要とされている。しかしながら、現在行われている耐震診断では家屋の強度部材である柱や筋交いの情報収集において検査員の目視でその有無を確認するのみであり、したがってその診断結果は信頼性のばらつきが生じる危険性を含んでいると考えられる。また大型地震に被災した多くの木造家屋の被災状況の診断では、被災家屋の迅速な耐震診断が求められる。しかしながら、木造家屋の耐震診断では数に限りのある熟練した住宅検査員による現地調査が必要であり、十分な対処を迅速に実施することは難しいと考えられる。そのうえ高齢化や人口減少が進展している我が国の状況において、熟練した住宅検査員の人手不足は年々進んでいくことが予想される。

これらの課題を解決するために、本研究では従来工法木造住宅の耐震診断へ適用可能な新しい非破壊検査装置としてマルチスタティックリニアアレイレーダ (MSLAR: multi-static linear array radar) の利用を提案した。レーダシステムの開発において、10 GHz~20 GHz の帯域で動作する抵抗装荷プリント化ボウタイアンテナを最適化設計し、このアンテナから成るリニアアレイアンテナを最適化設計した。MSLAR に適用可能なリニアアレイアンテナの校正方法を提案した。この校正方法は、アンテナから近距離に配置した金属の反射板の計測データから、アンテナを装置から取り外すことなく各送信チャンネル、

受信チャンネルの伝達関数の校正を行うことを可能にするものである。送受信アンテナが等間隔に配置されていることに着目し、最も近接した送受信チャンネルの計測データのみから校正行列を作成することで、全ての送受信チャンネルの組み合わせにおける周波数領域での計測データの校正が可能であることを示した。開発した 10 GHz~20 GHz 帯 MSLAR の性能確認試験を実施し、在来工法の木造家屋壁モデル内部の筋交い材の形状を明瞭に 3 次元映像化することが可能であることを示した。3 次元映像に対する校正方法の効果の評価も行い、目標物の虚像が消えレンジ方向の目標物の位置が正確に表示されることを示した。実際の従来工法木造家屋の外壁を忠実に模擬した試験体を利用して、木造家屋壁内部の 3 次元映像化能力を実証した。

更に実際の木造住宅の耐震診断へ MSLAR を適用するための耐震診断助力システムを検討した。MSLAR とこのシステムを利用することで、3 次元映像出力から筋交いの配置や形状を具体的に把握できることを示した。その能力は 15mm 刻みで規格化されている筋交い形状の特定に十分であることを示した。筋交いの形状を特定することで信頼性の高い耐震強度計算が可能になることを示した。そしてその操作性の良さから現場確認作業の迅速化と省力化を同時に実現可能であることを示した。



開発したマルチスタティックリニアアレイレーダ (MSLAR)

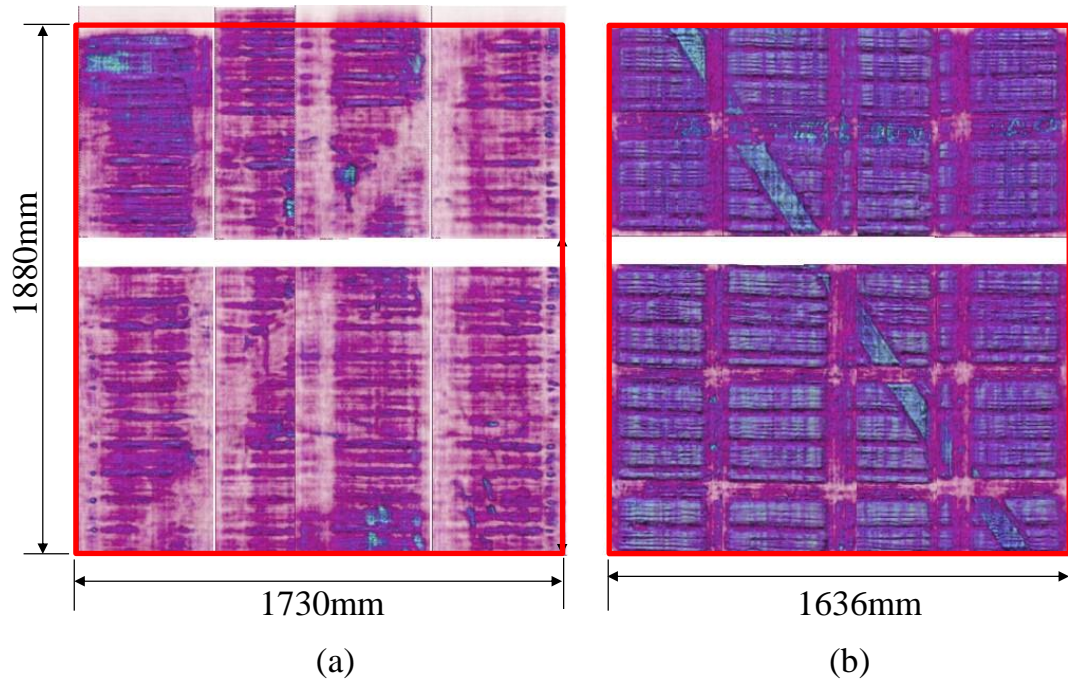
(a)レーダ本体, (b)信号処理機

開発装置概略仕様

Specifications	
Radar Type	Multi-static linear array radar
Frequency Band	10-20GHz (9.94~19.7 GHz) (Step frequency radar)
Array Antenna Unit	64 antennas (32 transmitting + 32 receiving)
Detectable Depth	240mm
Measurement Width	472.5mm
Measurement Speed	6 cm/s
Weight	Radar unit: 6kg, Signal processing Unit: 15 kg



従来工法木造家屋の外壁を再現した試験体 No. 1 の内部構造（屋内側から）



試験体 No. 1 内部の 3 次元映像の計測結果

(a)屋外壁側, (b)屋内壁側

## 論文審査結果の要旨及びその担当者

論文提出者氏名	森 康成
論文題目	木造家屋耐震性能評価における3次元イメージングレーダ技術の応用に関する研究
論文審査担当者	<p>主査 教授 <u>佐藤 源之</u></p> <p>教授 <u>高橋 弘</u>                      教授 <u>陳 強</u> (工学研究科)</p> <p>教授 <u>石田 壽一</u> (工学研究科)</p>

## 論文審査結果の要旨

我が国で個人住宅の多くは木造建築である。東日本大震災や熊本地震などでは木造家屋の損傷、倒壊が大きな社会問題となり、木造住宅の耐震診断の重要性が再認識された。本研究では従来工法木造住宅の耐震診断へ適用可能な新しい非破壊検査装置としてマルチスタティックリニアアレイレーダ（MSLAR）を提案し、その開発と技術的な検証、更に耐震診断への具体的な実装方法について提案を行っている。

本論文は7章で構成される。

第1章は緒論である。

第2章では10GHz～20GHzの周波数帯域で動作するアレイアンテナ用抵抗装荷プリント化ボウタイアンテナの最適化設計法を示した。特にアンテナ給電回路の改良により、アンテナ性能の飛躍的向上が実現できた。

第3章ではMSLARに適用可能なリニアアレイアンテナの校正方法を提案した。32x32通りのアンテナ組み合わせに対して、提案手法ではアンテナ配置の周期性を利用し、アンテナを装置から取り外すことなく周波数領域の計測データを校正できることを示した。

第4章ではMSLARを利用した木造家屋用の非破壊検査能力を実験的に検証した。2つの在来工法木造家屋壁モデルを計測し、壁内部の筋交い材の形状を明瞭に3次元映像化できることを示した。また第3章で提案した校正方法の評価も行い、校正により目標物の背後に現れる虚像が消えレンジ方向の目標物の位置が正確に表示されることを示した。

第5章では、MSLARの従来工法木造家屋の壁内部の3次元映像化能力を実証するために、実際の従来工法木造家屋の外壁を忠実に模擬した試験体を計測し、筋交いの有無の判断と共に、その画像から筋交いの配置や形状を容易に観察することが可能であることを示した。

第6章ではMSLARを用いた耐震診断支援システムを検討し、3次元映像出力から筋交いの幅や厚みといった強度に直結する寸法を定量的に得ることができると示した。これらの数値を宮城県で標準的に使用されている耐震診断ソフトに入力することによって、より信頼性の高い耐震強度を計算することが可能になることを示した。また木造住宅の耐震診断における現場での確認作業の迅速化と省力化を同時に実現することも可能であることを示した。

第7章は結論である。

本研究では従来実用化されていない木造住宅の内部構造を可視化するためのレーダ装置開発を行い、実際の計測結果を耐震診断に利用する具体的な手法を提示した。耐震診断は減災、防災技術としての意義が高く、近い将来実際の耐震診断に利用できる新技術を提示することができた。本研究の成果は木造住宅の断熱化などの省エネルギー技術などに発展することも期待され、環境科学への寄与も大きい。

よって、本論文は博士(学術)の学位論文として合格と認める。