

平成 24 年度 委託研究
「電磁波を用いた建造物非破壊センシング技術の
研究開発」
研究計画書

1. 研究開発課題

『電磁波を用いた建造物非破壊センシング技術の研究開発』

課題ア 建造物非破壊センサーの研究開発

課題イ 建造物非破壊診断技術の研究開発

2. 研究開発の目的

東日本大震災では東北地方を中心に甚大な被害を受け、建造物については、全壊・半壊となった 22 万 5 千戸に加え、外形からでは認知できないダメージを受けたものも多数存在すると指摘されている。それら外形で判断できない建造物の状況を知るために、化粧板等で覆われた建造物内部の骨組みを電磁波で透視診断する技術の確立が望まれている。また、東北の被災地では、震災後の余震による傷の拡大に加え、今後は冬期の凍結、融解の繰り返しなどによるさらなる劣化の進行も予想され、そのような震災後も続く経時変化（経時劣化）を簡便に診断する技術の確立が求められている。

このため、本研究開発では、マイクロ波からミリ波までの広範囲の電磁波を利用した計測技術の可能性を検討し、その中で最も効果的である周波数を見だし、建造物の内部状況を簡便に診断するシステムの構築技術を確立し、現状では専門家の目視による診断が主となっている震災等でダメージを受けた建造物の診断を、効率的かつ確実に実施するための支援ツールとして普及させていく基盤の確立を目的とする。

目的に合わせた適切な周波数によるセンサー技術を確立するとともに、実際の土木建築のフィールドにおいて有効に活用する道を開拓していくため、関連分野及び被災地の関係組織や大学等との連携による実証を重視した推進を行い、開発後の速やかな導入基盤の強化を目指す。

3. 採択件数、研究開発期間及び予算

研究開発期間：平成 24 年度から平成 25 年度までの 2 年間。（但し、平成 27 年度までの 2 年間の契約延長有り。提案に当たっては、延長期間を含めた平成 27 年度末までの研究開発計画を示すこと。採択評価は、延長期間を含めた提案を対象に実施する。）

予算：平成 24 年度は総額 110 百万円を上限とする。提案の予算額の調整を行った上で採択する提案を決定する場合がある。

研究継続条件：中間評価段階（平成 25 年度）で平成 26 年度以降の研究開発計画の再提出を求める。中間評価時までの成果及び平成 26 年度以降の研究計画を評価し、契約延長の可否を判定する。契約延長が認められた提案については、平成 27 年度まで契約を延長する。

本研究開発課題は、個別研究開発課題毎に公募する。

個別研究開発課題

課題ア 建造物非破壊センサーの研究開発

予算 : 平成 24 年度は 90 百万円を上限、平成 25 年度は 85 百万円、平成 26 年度以降の計画については、平成 26 年度は 29 百万円、平成 27 年度は 27 百万円を上限として想定した提案を行うこと。

採択件数 : 1 件

課題イ 建造物非破壊診断技術の研究開発

予算 : 平成 24 年度は 20 百万円を上限、平成 25 年度は 19 百万円、平成 26 年度以降の計画については、平成 26 年度は 68 百万円、平成 27 年度は 64 百万円を上限として想定した提案を行うこと。

採択件数 : 1 件

4. 提案に当たっての留意点

提案に当たっては、既存の手法に対する提案手法の優位性を具体的に説明すること。

課題ア、イのそれぞれに対して、同一の法人から同時に提案することができる。

課題ア、課題イを合わせて包括的に捉えた体制による提案も可とするが、提案書は課題ア、イそれぞれについて独立に作成すること。

課題アとイに対する提案がそれぞれ個別に採択された場合、課題アの受託者は課題ア、課題イを通じた研究開発全体のとりまとめを行うこと。課題イの受託者はそれに協力すること。

5. 研究開発の到達目標

今回の震災でダメージを受けた建造物の多数が木造建築であることをふまえ、化粧板に覆われた木造建築の内部骨格等の異常を迅速に検出可能なセンサー及びそのオペレーション技術、解析技術を確立する。また、家屋に用いられている様々な材料全般に適用可能な技術を実現するため、最適周波数を明確にししながらハードウェア及び解析手法の研究開発を行う。

木造建築の骨格の異常を検出することを重視する。可能であれば更に鉄筋コンクリート等への適用範囲の拡大も視野に入れた総合的な建造物非破壊診断技術の確立を目指すこととする。必ずしも高精細に映像化することのみにこだわる必要はなく、建造物内部の異常に関連する信号を検出し、診断士等が異常の存在を認識できる形に情報化・提示することを目指す。また、経時変化などの追跡診断において重要となる機動的な簡易診断を中・長期的に実施していくことも念頭に、簡便に操作できるシステムであることを基本とし、診断士等の電磁波計測についての非専門家が簡便に利用できる支援システムを構築できるものであることを重視する。センサーの周波数の選択、

方式、走査方式等についても、上記目的に合致したシステムを構築するための創意工夫をすること。

装置の基本は可搬型であることとし、前述の諸条件に加え、壁面形状が多様な民家等に適用できるオペレーションが可能なシステムであること（様々なオペレーションへの応用を可能とする基本概念、構造であること）、設置の簡便性を考慮したシステムであることを条件とする。提案書の中で、装置の方式、形状及び装置サイズの目標値とその根拠を説明すること。システムを構築する基本思想としては、ハードウェア、アルゴリズム、ユーザーインタフェースが非破壊診断技術としてシステムティックに一体化したプラットフォームの実現を目指すものとする。

本研究開発は、最先端の電磁波応用技術の知見を活かしたハードウェア開発を主体とする課題アと、ユーザーが使いやすいデータ解析・利用技術及び危険度判定基準などの策定にも利用可能な基礎情報を導出する方法を確立する課題イの構成とする。平成 24、25 年度においてはハードウェア開発に重点を置き、延長となった場合は総合的な診断技術確立に重点を置いて、研究開発を行う。

課題ア 建造物非破壊センサーの研究開発

マイクロ波～ミリ波の領域について、上記目的を達成するための最適周波数を選定し、その周波数（複数可）による非破壊診断センサーのプロトタイプを研究開発する。課題イと連携して診断システムを構築し、実証を行う。

平成 24、25 年度においては、基本的なハードウェアの開発を集中的に行い、実地で試行できるところまでを目標とする。延長になった場合は、課題イ及び課題イとの連携実証実験などから得られる知見のフィードバックによるセンサーの改良に注力する。

課題イ 建造物非破壊診断技術の研究開発

課題アで研究開発するセンサーを実際の家屋等に適用するための診断アルゴリズムの研究開発及びオペレーションのためのシステムのデザインを行う。計測されたデータ解析結果を建造物の危険度（劣化度）を客観的視点で判定するための基礎情報として利用できるようにする。

平成 24、25 年度においては、土木・建築の専門の観点を取り入れた総合的診断技術（劣化判定技術）の基礎の確立を行う。延長になった場合は、従来の検査方法では不可能であった診断が可能になったことを示すための有効性実証実験を課題アと連携して行い、実用的診断のための基盤技術を確立する。実証結果の客観評価においては、建築診断関係の専門家の見解を取り入れることとする。

課題ア、イ 共通

開発の各段階での試験においては、課題ア、課題イが常に連携し、開発段階の試験や実験で得られるデータや結果をそれぞれの研究開発にフィードバックしていく形の運営を行うこととし、最終成果においては、課題アと課題イの成果を融

合させたシステムとして提示することとする。

また、開発後の実利用をスムーズに促進するため、ユーザーとなる分野への技術浸透の確実性を高める連携実証などの工夫を行うこととし、提案書にその具体案を記述すること。

6. 研究開発の運営管理及び評価について

課題アの受託者が研究開発全体のとりまとめを行う運営体制を構築すること。

研究開発のプロセス及び成果展開において、土木・建築関連分野及び非破壊検査分野の関連組織等との連携強化、情報通信研究機構（以下、「機構」という。）の電磁波計測研究所及び未来 ICT 研究所との連携強化、内閣府総合科学技術会議のアクションプラン等への貢献などを確実に進めていくための連絡調整会議を課題アの受託者が設け、約3ヶ月毎を目安に会議を開催し、研究開発の進捗を確認することとする。

また、土木・建築分野や非破壊検査分野の諸機関、諸団体等との連携に基づく確実な社会還元を目指すため、土木・建築系の関連学会やフォーラム等の場への積極的参画によるコミュニケーション強化と利用促進のための活動を行うこと。

研究開発の各プロセスにおける実地の実験等において東日本大震災の被災地の関連組織等との有機的連携を確実にする運営体制、チーム構成であることも重視する。

また、平成 25 年度に中間評価、延長になった場合は 27 年度に終了評価を行う。

7. 参考

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、東北地方を中心とするマグニチュード9クラスの強い揺れ及び強い余震により、ビル、家屋等の構造物が甚大な被害を受けた。そのような中、近年の構造物は化粧板等で表面を覆われているため、骨格等の内部損傷の状態を外見からは判断できないケースが多く、被災建造物の内部の状態を化粧板を破壊することなく透視する技術が望まれている。

内閣府総合科学技術会議によって平成 23 年 10 月5日に公表された「平成 24 年度科学技術重要施策アクションプランの対象施策について ―社会的課題の解決に向けた科学技術重点施策―」においても、そのような視点による課題の重要性が取り上げられ、平成 23 年度から 27 年度の5年間で実用化すべき技術であり、総務省及び機構が主体的に推進すべき課題として、「電磁波（高周波）センシングによる建造物の非破壊健全性検査技術の研究開発」が挙げられている。

これらの背景を踏まえ、その実現のための基礎技術を有する企業、大学等の知恵と技術を結集し、機構自らの研究開発とも有機的に連携しつつ、被災家屋の健全性診断に望まれる性能の計測システムを開発し、実用化までの道筋を確実なものにするための研究開発を平成 24 年度から 27 年度までの4年間で集中的に推進する。

（1）東北地方における被災家屋の状況

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災の被災地域においては、全壊・半壊となった

22万5千戸の建造物に加え、耐震性に重大な影響を与える外形からでは認知できない損傷を内包する建造物が相当数存在している可能性がある。これらの建造物が耐震性を有することを担保するためには、健全性検査の実施が求められるが、橋梁等の大規模建造物のみならず一般の現住住宅等までも含む大多数の建造物を効率的に検査する技術は存在せず、多くの建造物がこの先数年にわたり潜在的危険性を抱えつつ使用される可能性が高い。

タイルで覆われた鉄筋コンクリートの建造物においては、多くの場合、地震によってかかった応力の方向に応じたタイルのはがれ等があるが、一般家屋のような木造建造物は木の骨格を化粧板で覆われていることが多く、化粧板に損傷がない場合、内部の状況は全くわからない。加えて、化粧板と骨格の間が空気層の場合もあれば断熱材が封入された構造の場合もあるが、いずれも、骨格との間に空間があるため、叩いて反応を確認する打音法等の手法も役に立たない。従って、建築材料に対する透過性の高い電磁波を用いた非破壊・非接触の診断技術が望まれている。

また、コンクリートや橋梁等の構造物も含めた被災建造物全般に共通する課題として、震災によって直接受けたダメージだけでなく、余震の連続や冬期の凍結・融解の繰り返しなどによる経時的劣化の進行も重要な問題となっており、現状把握のみならず、経年的な変化に対する継続的診断の重要性が指摘されている。

(2) 被災家屋診断の現状

現在、建造物の内部劣化状況を診断する方法としては打音法、はつり試験法（表面を削って内部の状況を検査）、X線透過法等が存在する。打音法については、音を聞いて内部の様子を判断するための熟練を経た技術者でなければ判断できず、はつり試験法では、削って部分的に破壊しなければ判断できない。またX線についてはX線特有の性質により、安全で簡便な計測はできない。

比較的周波数の低いマイクロ波においては、5GHz付近を用いた非破壊診断技術が存在し、市販されている装置もあるが、周波数が低い（波長が長い）ため内部の細かい様子までは判別が困難である。また、現状では操作と解析に熟練を要し、電磁波に関する専門知識のない非専門家が診断に利用することは難しい。

東日本大震災の数十万戸の家屋の診断においては、全壊、半壊等の判断の迅速性が求められる状況もあり、専門の建築士（診断士）による目視検査による短時間の診断を基本に進められた模様である。そのため、前述のように、一見全く損傷のない化粧板等に覆われた家屋の内部骨格が損傷していたとしても見逃されている可能性があり、その場合、骨格が折れて耐震性のない家屋に不安を持ちながら住み続けることになる。

(3) 電磁波（マイクロ波からミリ波まで）を用いた非破壊センシング技術の現状

5GHz付近のマイクロ波を用いた非破壊センシング技術が開発され、鉄筋等を対象とする市販品が存在する。しかし、木造家屋へのそのままの応用は分解能の点で困難と考えられる。ミリ波領域のセンシング応用については、35GHzや94GHz付近を気象観測や乗用車の衝突防止レーダ等に应用している例はあるが、建造物を透視する能

力を持つ非破壊センシングを実現した例は無い。いずれも、被災家屋等の迅速な診断に誰もが簡便に利用可能な解析技術までを組み込んだ診断システムとしての実現例はない。

(4) 最適周波数の選定等について

最適周波数の選定においては情報通信研究機構（以下、「機構」という。）の自主研究（電磁波計測研究所及び未来 ICT 研究所）とも連携し、機構がこれまでに調査した情報、蓄積した電磁波の材料透過特性に関する知識やそれに関連する技術的ノウハウを参考にすることが望ましい。

また、材料に対する電磁波の透過特性などに関する追加実験による確認等が必要な場合にも、機構の自主研究との連携による検証を行っていくことが望ましい。

(5) 実証の時期と方法、連携の進め方等について

東北地方の被災地の大学を含む関係研究組織とのコミュニケーションを重視した研究開発及び実証スタイルの構築が重要である。システム構築に向けた各要素の研究開発段階においてもそういう関係筋との連携を意識し、フィールドに根ざした研究開発、実験データの取得、開発したシステムのプロトタイプ実証等を進めていくことが必要である。

また、開発するシステムによって得られるデータを解析した結果を劣化判定基準の策定などに応用できる情報として整備していく観点による技術開発を、土木・建築関係の専門分野の知見を入れながら検討していく体制の整備が重要である。

広い関係筋との連携を図っていく場として、フォーラム（例えば機構が事務局をつとめる次世代安心・安全 ICT フォーラムなど）の中で機構と連携した分科会活動を行うことや、土木・建築関係の学会等の分科会活動等を積極的に行っていくことが望ましい。