

ミリ波イメージング技術と構造物診断への応用

安心・安全な社会に対する関心が高まる中、ミリ波と呼ばれる電波を使って物体を「見る」ためのイメージング技術に期待が集まっています。本稿では、ミリ波イメージング技術の動向と、その新しい応用として、構造物診断への適用の試みを紹介します。

ながつま ただお おか そういち
 永妻 忠夫 / 岡 宗一

NTTマイクロシステムインテグレーション研究所

身近になったミリ波

今、「ミリ波」と呼ばれる電波が私たちの身の回りで役立てられるようになりました。ミリ波とは、文字どおり、波長がミリメートルのオーダー（1～10 mm）の電波のことです。周波数でいえば30～300 GHzに相当し、携帯電話や無線LANで使われている電波の周波数のおよそ10～100倍になります。このような波長が短い、周波数が高いという特徴を生かすことで、走行中の車間距離を高精度に測定して衝突を防ぐための車載レーダに用いたり⁽¹⁾、ギガビット級の伝送速度の高速無線通信が実現されています⁽²⁾。そして最近にわかに注目され始めた、もう1つのミリ波应用到、「イメージング」と呼ばれる技術があります⁽³⁾。

イメージングとは

イメージングとは、肉眼では見えない（あるいは見えにくい）物体を像として可視化する技術のことです。特に、安心で安全な社会の再構築が世界中の関心事になってきたことを背景に、近年、ミリ波を使ったイメージング技術の研究開発が国内外で活発になってきました。

図1は、これまで私たち人類が開発してきた種々のイメージング技術を、電磁波（電波と光）の波長（周波数）を軸にまとめたものです。19世紀までは可視光が物体を見る唯一の電磁波でしたが、20世紀になってX線をはじめ、赤外線、紫外線、マイクロ波などさまざまな波長の電磁波で物体を見ることができるようになりました。

現在、イメージング技術として未開拓なのは、電磁波の発生・検出技術が遅れていた、ミリ波からサブミリ波帯の電波の領域です。この領域の電磁

波は、可視光と比べて、プラスチック、壁、紙、衣服、煙、霧などを透過しやすいという特長を有しています。また地形観測などを対象にしてきたマイクロ波レーダと比較すると、ミリ～サブミリメートルまで空間分解能が上がることで、私たちの生活（衣食住）空間に存在するさまざまな物体を対象にできるのです。

ミリ波イメージング技術は、図2に示すように、物体そのものから発生する電磁波を検出し画像化する受動型（パッシブ）イメージングと、ある既知

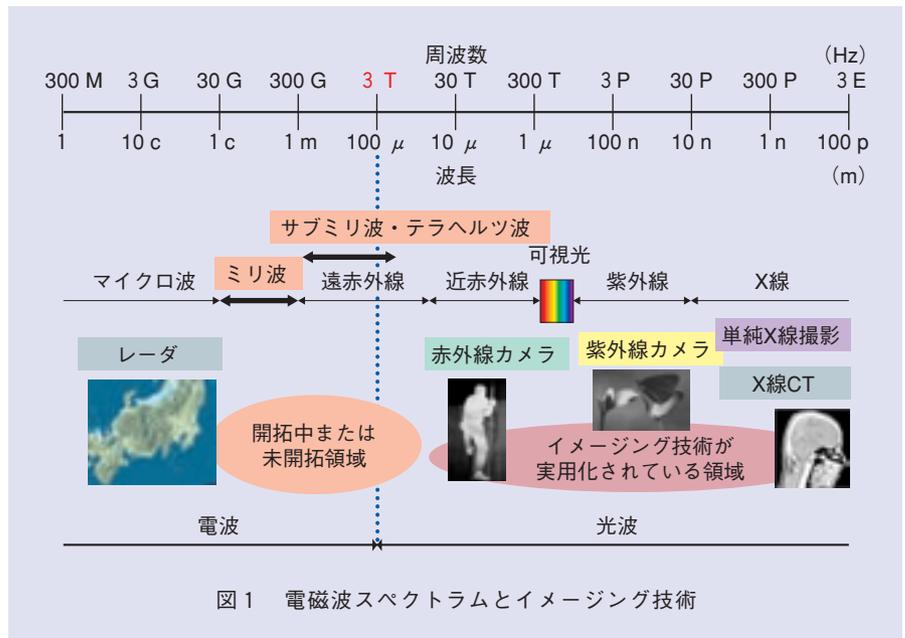


図1 電磁波スペクトラムとイメージング技術

の波長（周波数）の電磁波を物体に照射し、その透過波あるいは反射波を検出して画像化する能動型（アクティブ）イメージングに分類できます。

人間をはじめ温度を有するすべての物体は、黒体輻射としてミリ〜サブミリ波帯の電波や赤外線電磁波エネルギーを多く放出しています。その電磁波エネルギーは、ミリ波アンテナ、増幅器、ショットキーダイオード検波器などを組み合わせることで、温度に換算して0.1度の分解能で高感度に検出することが可能です。これによって、例えば、壁を通して人間の姿を映し出したり、人体自身がバックライトとなったりして、着ている衣服に隠されたナイフや拳銃を映し出すことができます。

一方、能動型イメージングにおいては、電波を照明のように物体に当てることで、よりはっきりとした物体像を得ることができます。照明用に使われる電波の強度は、携帯電話の1万分の1で、またX線のような人体への影響はありません。

そこでいち早く海外では、セキュリティ対策としてミリ波イメージング技術を活用することが検討され、鉄道駅や空港の乗客監視システムなどで試験運用が始まっています。

私たちは、物体透過性、空間分解能、安全性に優れたミリ波イメージング技術の新たな応用として、建造物や構造物の診断に利用できると考えています。次に、私たちが行っているミリ波イメージング技術の開発の一例として、塗装や壁紙の下のコンクリートのクラック（ひび割れ）を検出する装置

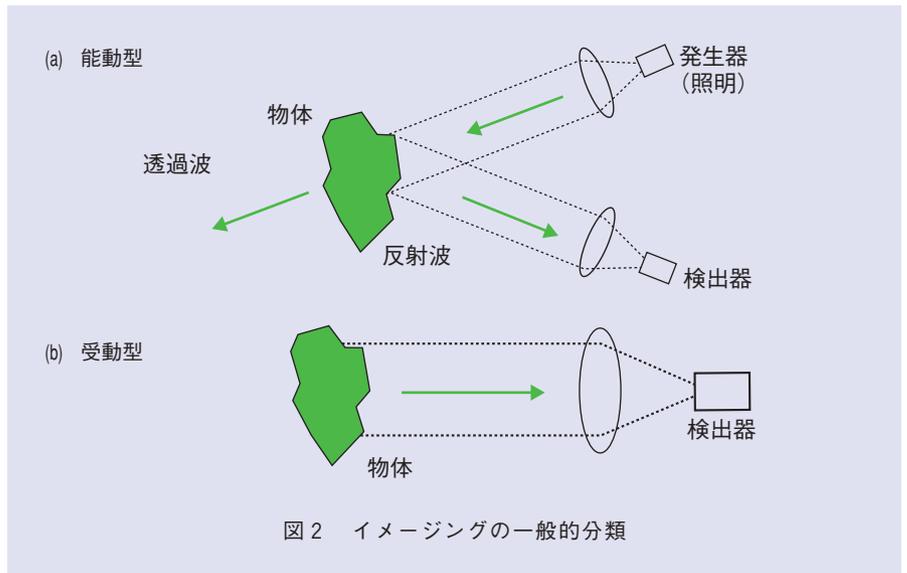


図2 イメージングの一般的分類

について紹介します。

表層非破壊診断への挑戦

マンション等のコンクリート構造物内部でクラックや剥離が発生すると、構造の強度が落ちてついには倒壊する危険性が生じることが報じられています。コンクリート建造物倒壊事故の防止には、クラックや剥離を早期の段階で検知することが欠かせません。通常コンクリート壁面は壁紙やライニング（裏張り）塗装が施されているケースが多く、目視では細かい表面クラックを観察できない状況にあります。実用的な解決手段としては、構造物を破壊することなく広域にわたって透視診断できる非破壊検査方式が望まれています。

構造物の非破壊検査方式にもっともよく用いられているのが電磁波測定であり、超音波やレーダ等を用いてさまざまな装置が開発された実績があります。しかしながら、既存技術をコンクリート表層クラック検知に適用する

には次のような問題点があります。

第1に、コンクリートクラックの早期診断に要求される基準幅はおよそコンマ数mmとされていますが、この大きさは一般の構造物非破壊検査装置において用いられている電磁波（マイクロ波が主流）の波長よりも極めて小さく、クラックの正確な形状を知るためには分解能が不足しています。

第2に、たとえX線のように超短波長で高分解能を有していたとしても、ターゲットを挟んで送受信器を対向配置する透過撮像方式では、厚い壁や複雑に入り組んだ形状の構造物診断に不向きです。実際の現場では、ターゲットの裏側に回り込むのは困難なケースが多いのです。

本研究開発ではこのような問題点を解決するために、コンクリート表層被覆を透過できるミリ波帯の電磁波を用い、その波長より一桁近く小さいコンマ数mm幅のクラック形状を反射で透視できる技術を課題としています。

クラックスキャン

クラックスキャンは反射撮像式の表層透視スキャナです。概観を図3に示します。全長約30 cm、重量約2.1 kgの片手で操作できる車体です。ターゲットの上を転がすと、表層内部の透視像がモニタに映し出されます。



図3 クラックスキャン

原理と装置構成を図4に示します。四輪車体にミリ波送受信部、制御回路部、距離エンコーダを搭載しています。ミリ波送受信部では、ミリ波発振器によって電磁波をターゲット面に照射し、検波器によって電磁波の反射強度を検知しています。距離エンコーダは車輪の回転を走査距離に換算しています。制御回路部は検知された反射波の強度と移動距離をモニタに転送します。

コンクリートクラックにミリ波が当たると、クラックの溝によって吸収されたり、割れの凹凸によって不規則な方向に散乱したりしますので、その特性を利用すれば、平坦な正常面と区別することができます。

クラックスキャンによる撮像例を図

5に示します。約1 mm幅のクラックが生じたコンクリートの表面に壁紙被覆を施して撮像した結果です。壁紙に隠されたクラックが明瞭に映し出されています。図6は原理実験による撮像例です。コンマ数mm幅のクラックの上にアラミド材を貼って撮像しました。アラミド材はコンクリートの補強修繕に使われる繊維シートです。ミリ波を使えば、アラミド材越しにクラックの透視が可能であることが分かります。クラックスキャンは昨年の「つくばフォーラム2005」や「メンテナンス・テクノロジー2005」で初公開され、大きな反響をいただくことができました。

今後の課題

クラックスキャンは今後の実用化へ

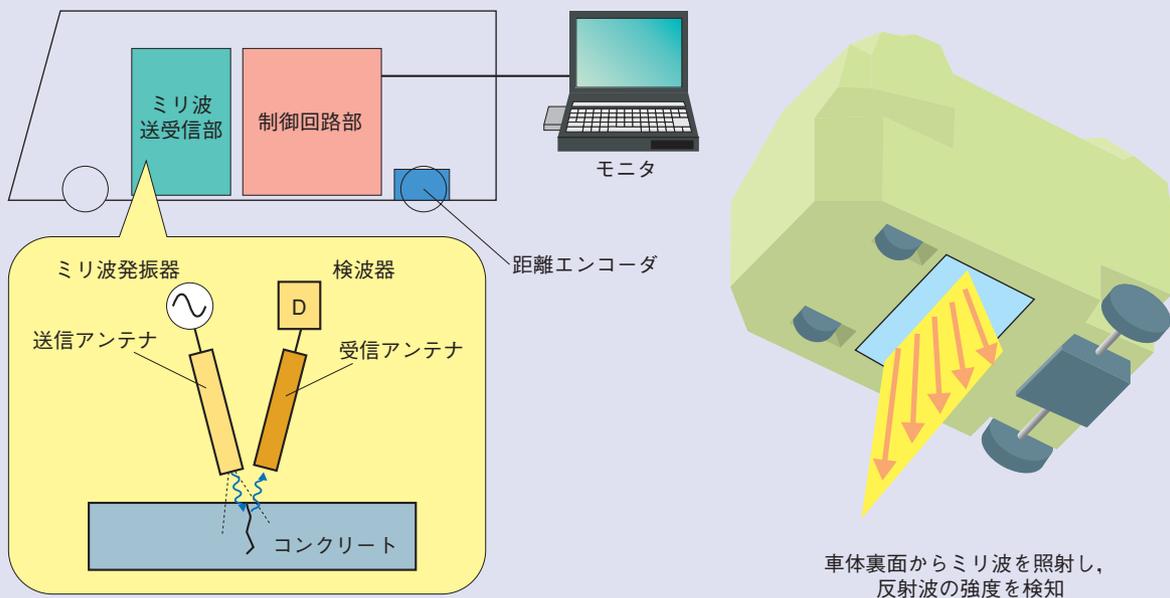


図4 クラックスキャンの原理と構造

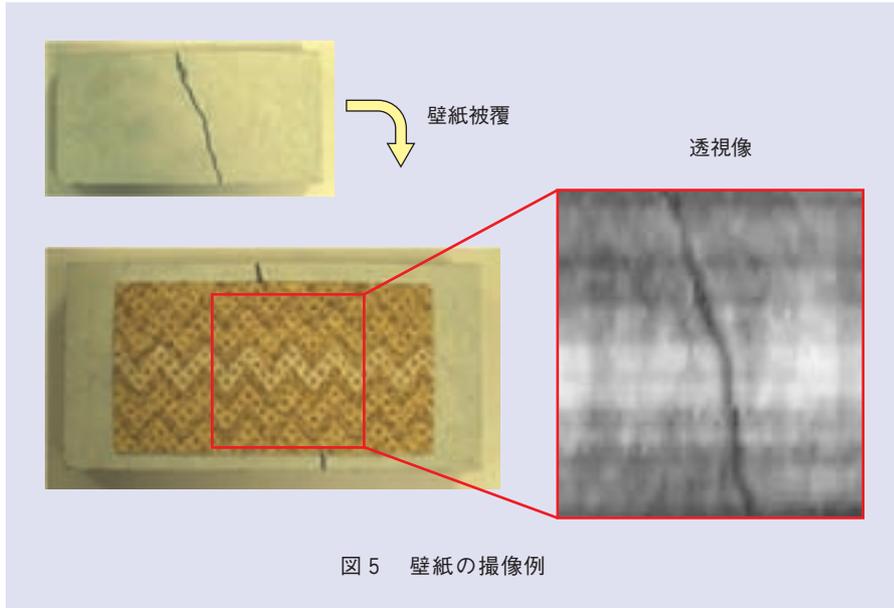


図5 壁紙の撮像例

- (2) 永妻・枚田：“120 GHz帯を利用した10 Gbit/s無線技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.16, No.9, pp.36-39, 2004.
- (3) 荏戸・水野：“ミリ波イメージング技術,” MWE 2004 Microwave Workshop Digest, pp.351-356, 2004.

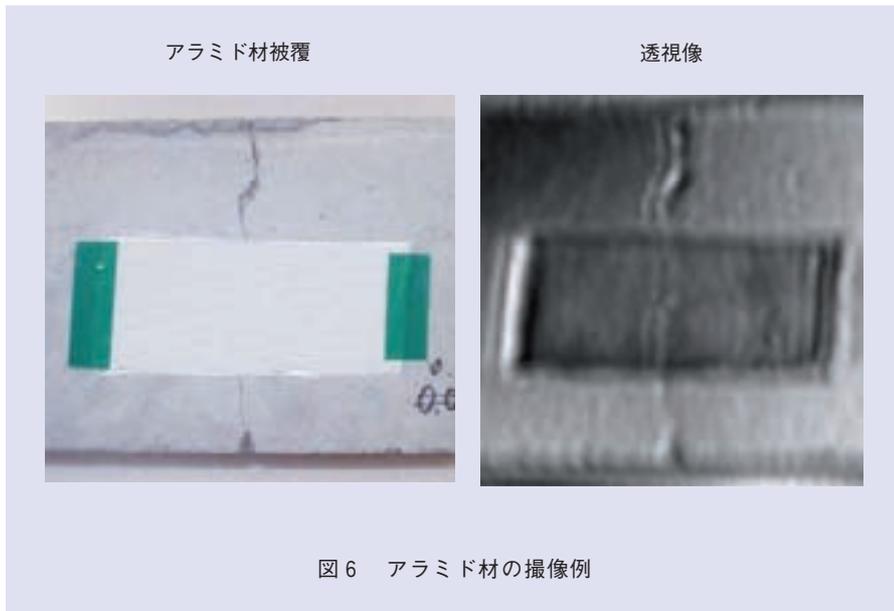


図6 アラミド材の撮像例



(左から) 永妻 忠夫/ 岡 宗一

電波の力は、通信分野以外にも大きく役立ちます。ミリ波の有効活用の一例として、最近話題となっているマンション診断等のニーズにこたえるアプリケーションを紹介しました。着眼とアイデアで社会のニーズに切り込み、NTTグループの可能性を広げる研究開発に取り組んでいきたいと思えます。

◆問い合わせ先

NTTマイクロシステムインテグレーション研究所
 光マイクロ波応用システム研究グループ
 TEL 046-240-2874
 FAX 046-240-4041
 E-mail oka@aecl.ntt.co.jp

向けて、さらなる装置の高性能化を目指しています。具体的には、高分解能と高速撮像の実現がポイントになります。使いやすい装置が完成したら現場試験を開始し、ターゲットの材質特性と透過力・分解能の関係を明らかにしたデータシートをつくることも課題で

す。クラックスキャンを早く市場へ送り出すために、グループ企業と連携して実用を見据えた研究開発を続けていきます。

■参考文献

- (1) 堀松：“ミリ波センサの実用化,” MWE 2005 Microwave Workshop Digest, pp.417-419, 2005.