

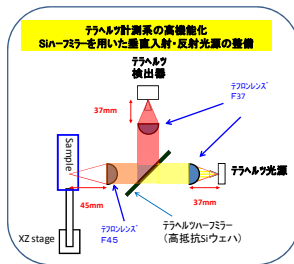
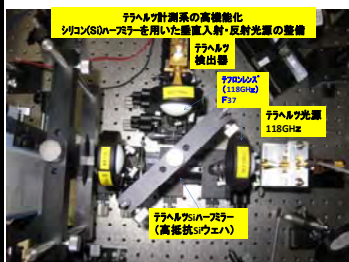
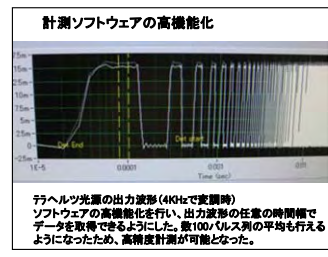
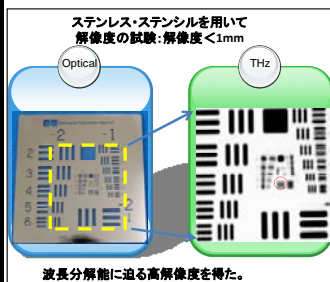
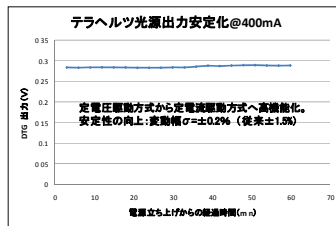
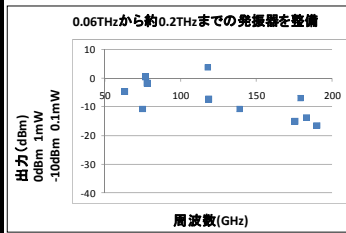
道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（FS研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職	
	小山 裕（おやま ゆたか）		国立大学法人 東北大学 大学院工学研究科		教授	
②研究 テーマ	名称	新たな超高周波電磁波を用いた道路構造物欠陥診断の研究開発				
	政策 領域	[主領域]（8）「道路資産の保全」	公募		タイプII	
		[副領域]	タイプ			
③研究経費（単位：万円）	平成22年度					
※受託金額を記入。	900万円					
④研究者氏名	（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）					
氏名			所属・役職			
田邊 匡生			東北大学 大学院工学研究科知能デバイス材料学専攻・助教			
久田 真			東北大学 大学院工学研究科・土木工学専攻・教授			
⑤研究の目的・目標（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）						
<p>光と電波の中間の周波数帯に当たるテラヘルツ(Tera Hertz)波とは、10^{12}ヘルツ周波数を意味し、現在の携帯電話使用周波数より数100倍から数1000倍高い周波数の電波である。近年、小型で実用的な種々のテラヘルツ光源の開発に成功し、その応用範囲も拡大しつつある。その過程で、テラヘルツ波が持つセメント・コンクリートの高い透過性や人体に無害であること、そして金属には反射され、水に吸収されるという他の波長の光や電波には無い特徴を生かす応用として、安全に作業性高く実施出来る道路構造物の内部欠陥検査への適用可能性が高まったので、本研究開発課題に想達した。テラヘルツ波研究は世界的にも端緒についたばかりであり、道路構造物を構成する材料の基礎的なデータが整備されていない。今回、タイプII（FS実施）の形態で、テラヘルツ帯での道路構造物材料データベースを構築し、模擬的な欠陥を含む小型試験体のイメージング可能性を調査する。</p>						

⑥ FS 研究の結果

【テラヘルツ光源の高機能化】

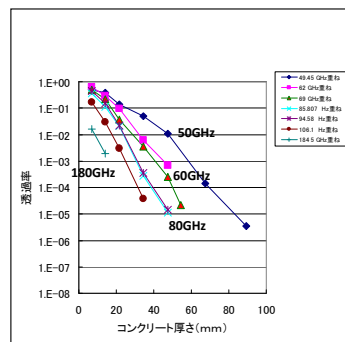
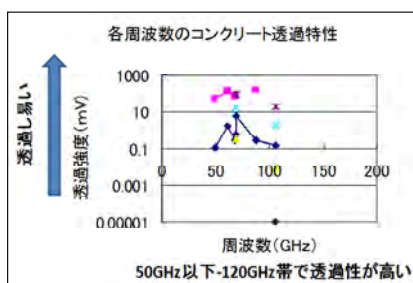
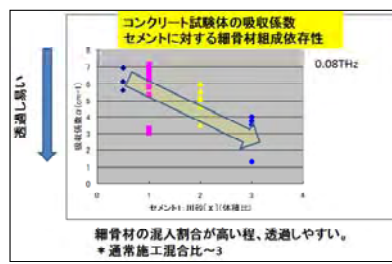
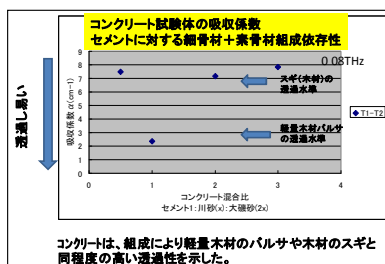


テラヘルツ光源用電子デバイスチップの
アセンブリを行い、0.06THzから0.
2THzの間で発生する光源を整備し、テ
ラヘルツ測定系の高安定化・高機能化を行
った。テラヘルツ測定系の光学系の整備、
計測ソフトウェアの高度化そして内部駆
動電源の増設を行い、測定計測系の高機能
化を行った。

その結果、**安定性が5倍以上向上**し高精度
計測が可能となった。また、ステンレス
ステンシルを用いた解像度テストを行い、**波
長限界に近い解像度** (< 1 mm) を得た。
計測ソフトウェアを高機能化し、テラヘル
ツ波形をこれまでの固定時間から、任意の
時間で取り込むことが出来るようにし、測
定データの安定化を行った。

これらの高機能化の整備を基に、垂直入射反
射光源を構築し、材料データベース構築そ
して構造物欠陥試験体のイメージング測定に
供した。本 FS 研究では垂直入射反射光源部
分を固定し、試料を走査したが、本格研究で
は、試料を固定し垂直入射反射光源部を走査
する事で、大型試験体の計測が可能となる。

【テラヘルツ特性データベースの構築】





コンクリート試験体のテラヘルツ
特性測定を行い、道路構造物材
料のテラヘルツ特性データベー
スを構築した。**セメント・骨材組
成による透過率の周波数依存性
を初めて明らかにし**、適した周波
数帯を見出した。容積比でポルト

ランドセメント 1 に対して細骨材
0.5~3、粗骨材 1~6 の範囲で透過能
とその周波数による変化を計測し
た。細骨材比重は 1.5、粗骨材比
重は 1.7 である。その結果、**細骨材比
率が高い程透過し易い**事、そして
70-120GHz 周波数帯が適している
と考えられた。いずれの組成でも、
軽量木材 (パルサ) やスギ材と同程
度に透過し易いと言える。本研究の

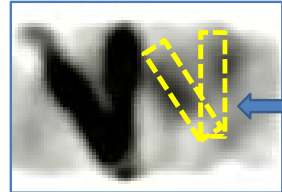
光源出力は 0.1mW 程度の微弱光源であるが、それでも 4cm ほど透過可能である。本格研究で 10 乃至 100 倍高強度の光源を整備する事により、数 10cm 奥の構造物内欠陥探傷に適用できる可能性が示された。

【試験体の模擬欠陥イメージング】

焦点位置 コンクリート試験体中の模擬鉄筋反射イメージング
表面から4mm (@77GHz)


焦点位置
表面から20mm



コンクリート試験体に埋め込まれた鉄バー(模擬スラブ幅1cm)の形状

表面から深い位置に焦点を移すことによって、深い位置の鉄バーからのイメージをとらえることが出来た。

コンクリート試験体中の模擬鉄筋イメージング(@118GHz)




表面から10mmの深さに焦点を置きイメージング

高周波118GHzのイメージングより、鮮明にイメージングが行う事ができる。

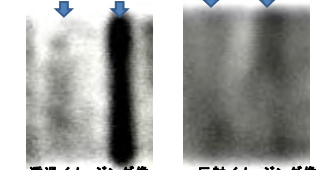
鉄筋、異物、空洞等の欠陥を模擬したコンクリート試験体を作製し、試験体の欠陥検出試験を行った。試験体内部模擬鉄筋を撮像した。試験体表面からの焦点位置を変える事で深

部の鉄筋撮像も可能であった。より高周波でイメージングを行う事で、より鮮明なイメージングが



20mm

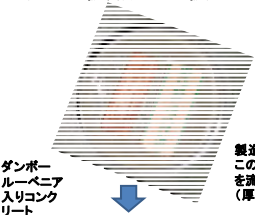
空洞欠陥試験体構造
内部空洞部
(幅10mm、高さ2mmと6mm)



透過イメージング像 表面から焦点位置10mm

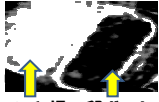
反射イメージング像 表面から焦点位置10mm

コンクリート試験体中の異物
(ベニヤ板、段ボール板)



ダンボール・ルーベニア入りコンクリート

製造工程途中のこの後、コンクリートを流し込む。(厚さ約20mm)



テラヘルツイメージングで異物を可視化可能。空洞についても計測。

ベニヤ板 段ボール
コンクリート内の異物

可能であった。

また、試験体内部の空洞を反射及び透過でイメージングすることが出来た。

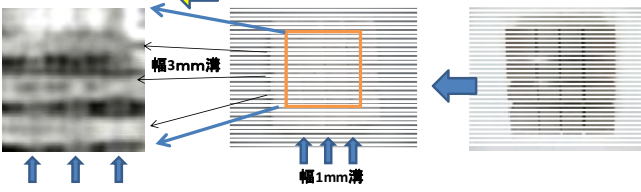
そしてベニヤ板とボール紙の異物の反射率及び屈折率の違いにより、異物の検出が行う事が出来た。

【塗装金属表面亀裂欠陥及び錆部のイメージング】

塗膜と金属の間に亀裂を模擬した欠陥構造を作成し、イメージングを行った。模擬亀裂は、鉄ブロックに幅1mmと3mm、深さ1mm、3mm、5mmの溝を切削加工して形成した。また塗装金属表面(塗膜と金属の間)に人工的錆部(酸化第二鉄)を形成し、イメージングを行った。塗装金属(鉄)の塗膜下(塗膜厚1.1mm)の亀裂を模擬した溝を殆ど塗膜の影響無くイメージング可能であった。また、鉄の赤さび部を明瞭にイメージングすることが出来た。塗装試料についてもイメージングを行った。塗膜として、代表的な橋梁用樹脂塗料であるフッ素樹脂塗料・エポキシ樹脂塗料そしてポリウレタン樹脂塗料を適用して行った。

テラヘルツイメージング

エポキシ樹脂塗装(塗膜厚さ約1.1mm)




幅3mm溝

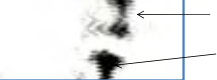
幅1mm溝

塗膜1.1mmのエポキシ樹脂塗装下の金属表面模擬クラック(溝)をイメージング出来た。樹脂塗料の影響は極めて少ない=樹脂塗料の透過性は高い。代表的な橋梁用塗料:フッ素樹脂塗料、エポキシ樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料で行った。

鉄板の赤さび部テラヘルツイメージング



フッ素樹脂塗装・ポリウレタン塗装・エポキシ樹脂塗装を行っても、殆ど塗膜の影響なくイメージング出来た。樹脂塗膜のテラヘルツ帯透過性は非常に高い。



酸化第二鉄(赤さび)部の反射強度の違いによりTHzイメージングされている。

⑦本格研究の見通し

【研究成果の見通し】

本 FS 研究によって、道路構造物を構成するコンクリート材料のテラヘルツ周波数帯での吸収係数やその周波数による変化そしてコンクリート試験体内部の鉄筋状態や異物等の欠陥イメージングの基礎的結果が得られた。FS 研究では現有の微弱出力の計測系を高機能化して用いたが、本格研究では FS 研究の結果を元にし、これを大出力光源を備えた計測ヘッド部を可動する当初計画通りの方向へ進める事により、現場に適用できる道路構造物の欠陥診断装置開発の実現が見込まれる。加えて、鉄橋梁に用いられる塗料のテラヘルツ周波数帯の透過が極めて容易である事が判明したので、橋梁・道路構造物の塗装膜下の亀裂や重度の錆発生を検知する事が可能になると思われ、道路や橋梁の保全に大いに貢献する装置の実現可能性が高いと考える。

【研究目標の達成見込み】

本格研究の目標は、テラヘルツ計測ヘッド本体が可動あるいは自走する道路構造物欠陥探傷装置の実現である。本 FS 研究は、微弱・小型試料用の計測ヘッド固定で試料走査型の現有の装置構成で得られたものであるが、これを大出力光源を用いた計測ヘッド可動型のプロトタイプ機の試作（第一期）を通じて問題点を精査・克服し、より実用的で、しかも操作性が容易な装置構成に仕上げていく（第二期）目標の達成を十分見込めると考えている。

【成果の活用方法・手段】

本格研究の成果は、道路・橋梁保守点検業務での現場試験で更に問題点の精査・克服を行い完成度を高め、実用機として世に送り出す事になる。

【今後の展開】

テラヘルツ周波数の、セメントや樹脂といった非極性材料への高い透過率と金属材料表面からの高い反射は、道路構造物に限らず多くの他の構造体内の欠陥探傷に広く展開可能である。今後、現在は熟練検査員の経験に基づいた破壊的目視検査に依存している絶縁被覆内部の電線腐食状態検査やゴム内の金属構造体等広範な保守・検査分野にテラヘルツ方式検査を展開していく。

⑧特記事項

（本 FS 研究から得られた知見、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の目的・目標からみた、研究成果の見通しや進捗の達成度についての自己評価も記入。）

【学内外等へのインパクト等】本 FS 研究での測定結果からも再度確認されたように、前項今後の展開で簡単に記述した、テラヘルツ周波数の絶縁物への高い透過性と金属からの高い反射性に着目した保守・検査応用は、既に広く注目を集めており、建築・土木関係以外の複数の企業と既に基礎的な共同研究を行っているところである。学内 TLO 等の支援を受け今後更に展開していく予定である。

【研究成果の見通しや進捗の達成度】本 FS 研究の現有微弱光源と現有小型軽量試料用イメージング装置の範囲内で得られた成果は、計画当初の見通しに即した進捗を得たと考えている。今後は、高強度光源を具備した計測ヘッド可動型装置により、より大型・大面積試験を進められるものと期待している。