

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K06535

研究課題名(和文) 生コン配合比検査およびコンクリートの比誘電率測定と高精度鉄筋探査に関する研究

研究課題名(英文) Research on fresh concrete compounding ratio inspection, specific dielectric constant measurement of concrete, and high-precision rebar exploration

研究代表者

田中 俊幸 (Tanaka, Toshiyuki)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：50202172

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：生コン配合比推定装置を開発した。それにより、標準配合比から水分が多い場合の生コンを判断する可能性があることを明らかにした。今後は、標準配合比以外の配合割合でも、水分配合比を測定できることを示したい。また、コンクリートの比誘電率分布の非破壊測定法を提案した。標準配合比の試験体であれば、比誘電率分布の深さ特性や経日変化特性を測定できることを明らかにした。今後は様々な配合比の試験体について比誘電率分布を明らかにしたい。最後にコンクリートレーダを用いて鉄筋径やかぶり厚をこれまで以上に精度良く測定できる可能性があることを明らかにした。1本の鉄筋による試験体では鉄筋径を0.5mmの誤差で測定できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンクリート構造物は半永久的なものではないと分かり、大事故を避けるために定期的な維持管理が非常に重要であることが周知の事実となりました。生コン診断技術の精度向上は建設前に予定した耐用年数を確保するために重要な技術です。また、非破壊で内部構造を調べることができるようになれば、コストの大幅な削減につながり、検査の回数も増やすことができ、持続可能な社会の構築に大きく貢献します。

研究成果の概要(英文)：Developed an estimated composition of fresh concrete composition. As a result, it was revealed that a fresh concrete may be determined when the water is high from the standard composition ratio. In the future, I would like to show that the hydrolytic comprehensive ratio can be measured even in the assembly ratio other than the standard composition ratio. In addition, we proposed a non-destruction measurement method of concrete dielectric ratio. It was revealed that the test that the standard composition ratio can measure the depth characteristics and the change by days. Finally, it was revealed that the radius and depth of the rebar could be measured more accurately using a concrete radar. In a test that buried one reinforcing bar, the reinforced diameter could be measured with a 0.5 mm error.

研究分野：電磁波応用

キーワード：生コン診断 コンクリート比誘電率 鉄筋径推定 コンクリートレーダ

1. 研究開始当初の背景

表1 フレッシュコンクリートの検査

調査項目	調査方法
単位水量試験	電子レンジ法, RI法, エアメーター法 (水分が多いと強度不足となる確実な試験法はない)
塩化物イオン濃度試験	生コン塩分濃度計 (塩分量を調べ, 錆の発生のしやすさを評価する.)
空気量測定	空気量測定器 (空気量によって流動性と圧縮強度を調べる)
流動性試験	スランブ試験 (流動性が高い方がコンクリート打設不良が起こりにくい)

生コンの診断は表1に示すように、水分量、塩化物イオン、空気量、流動性など診断項目によって種々の装置が用いられている。特に、水分比や塩化物イオンの含有量の評価は重要であるが、異なる試験装置が必要であり、時間と費用が掛かる。世界的に見てもこれらを一括して診断するシステムは開発されていない。研究代表者らはこれまでに、電磁波伝搬を利用して水分比と塩分の含有量を同時に推定することができることを示した。しかし、精度が十分でない為、装置の改良が必要となっている。

一方、コンクリート構造物の維持管理のために行われる内部診断には、破壊検査あるいは非破壊検査がある。円柱コアを採取する破壊検査は、内部構造を直接調査診断できるため探査精度は非常に高いが、構造物に穴を開けるため補修が必要であり、構造全体を調査することは時間、費用、安全性の面から実質的に不可能である。したがって、非破壊検査が注目を集めている。非破壊検査には目視調査、打音調査、弾性波法、超音波法、電磁波レーダ法、赤外線法、デジタルカメラ法、放射線透過試験などがある。電磁波レーダ法は電磁波の到達時間を利用して鉄筋や空洞の有無を容易に探査できる手法であるが、不均質媒質であるコンクリートの比誘電率が不明のため、現在のかぶりや鉄筋径の探査のすべてはコンクリートを均質媒質と仮定しているため、その精度は十分でない。かぶりや鉄筋径を正確に推定するためには、コンクリートの比誘電率分布を知る必要がある。

2. 研究の目的

我々は、これまでにコンクリートの比誘電率分布を測定する手法を提案し、大まかな比誘電率分布の推定に成功した。しかし、十分な精度が得られているとは言い難く、測定方法の改良が必要である。また、コンクリートの不均質分布を仮定して、かぶりや鉄筋径を推定することにより、推定精度の向上を目指す。なお、不均質性を考慮したコンクリート中の鉄筋推定を行うアルゴリズムの開発は、世界的にみても報告されていない。以上より下記を目指す。

- ・生コンの統合的な診断方法を完成させる。
- ・コンクリートの比誘電率分布を測定し、新たな不均質媒質中の鉄筋推定方法を開発する。

3. 研究の方法

生コン容器の両側に送信アンテナと受信アンテナを配置し、生コンの水、セメント、細骨材、塩の配合比の違いによる電磁波伝搬周波数特性の変化を明らかにする。また、粗骨材を含んだコンクリートでは、ざるで粗骨材のみを取り除き、モルタルの場合と同様に、生コンの成分比の違いによる電磁波伝搬周波数特性の違いを求める。また、生コンの水分が多いと水分は下方方向に移動すると考えられるため、水の移動を測定できる測定容器を設計し、作成する。水分の移動が確認できれば、生コン配合比の推定精度の向上を目指す。

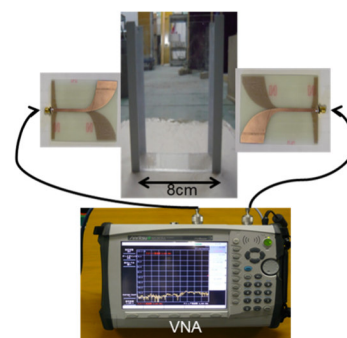


図1 測定系の構成

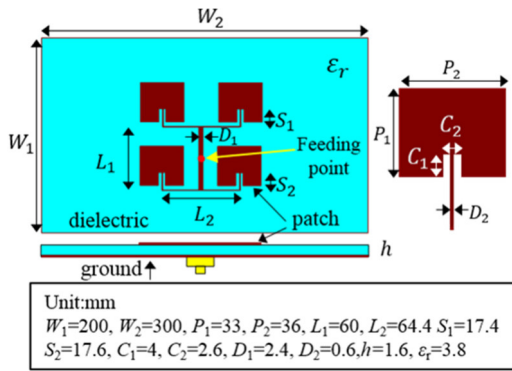
一方、コンクリート構造物の不均質な比誘電率分布を測定するための装置を開発する。具体的には誘電体同軸プローブによる複素比誘電率の直接測定と2つのタイポールアンテナをコンクリート構造物中の同じ高さ直接埋め込み、受信電磁波から平均の伝搬速度を求め、そこから平均の比誘電率を求めることを考える。これらのプローブやアンテナを埋めこむ試験体を複数作成し、比誘電率の時間変化や深さ方向の変化を測定する。

4. 研究成果

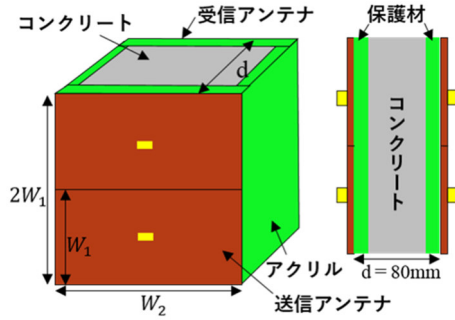
(1)フレッシュコンクリート診断システム

図1に示すフレッシュコンクリート診断システムを作成し、実験を行った。4素子アレイアンテナを利用することにより、正面方向の指向性を鋭くした。また、上下方向にアンテナを配置

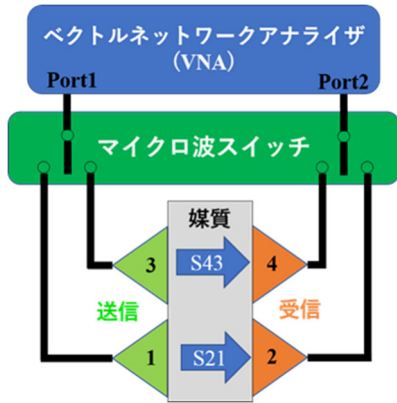
することにより、水分量の時間移動を観測可能にした (図 2, 3, 4).



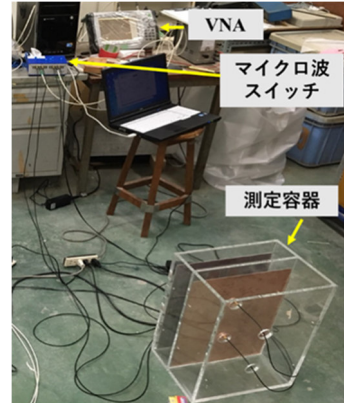
(a) 1ポート用アレイアンテナ



(b) 4ポート診断システムの構成

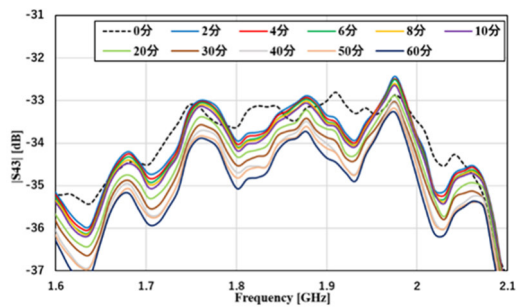


(c) 実験の構成

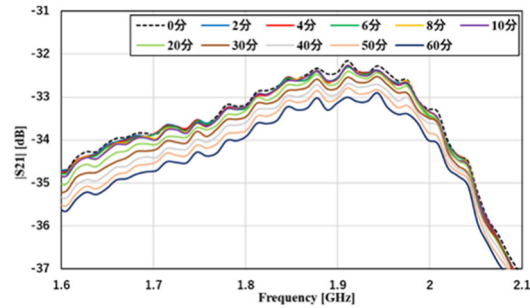


(d) 実験の写真

図2 フレッシュコンクリート診断システム

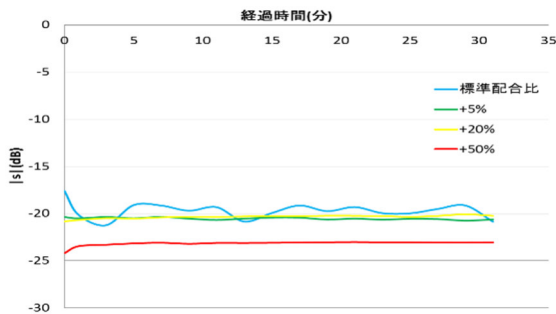


(a) 上側アンテナ対の観測結果

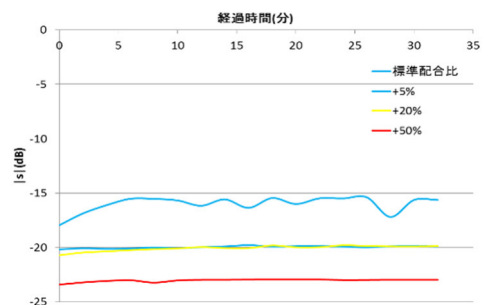


(b) 下側アンテナ対の観測結果

図3 フレッシュコンクリート診断システムによる水分量の時間移動観測



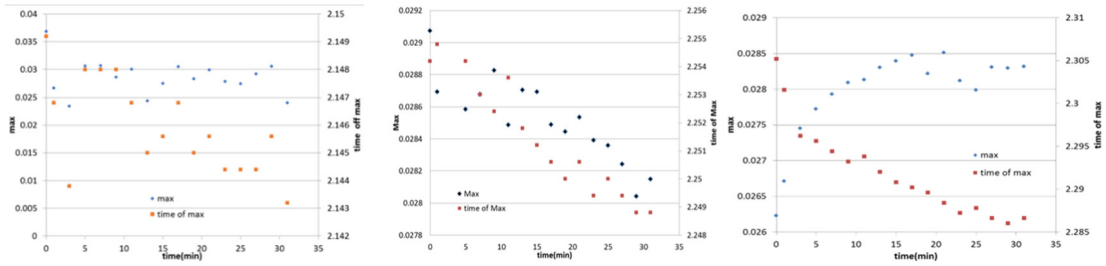
(a) 上側アンテナ対の時間特性



(b) 下側アンテナの時間特性

図4 同じ周波数に対する受信特性の時間変化

下側アンテナの方が、水分量の違いによって受信電界量の差が大きいことが分かる。



(a) 標準配合比 (b) 5%水分増量 (c) 20%水分増量

図5 パルスを受信したときの最大値の時間変化(上部アンテナ)

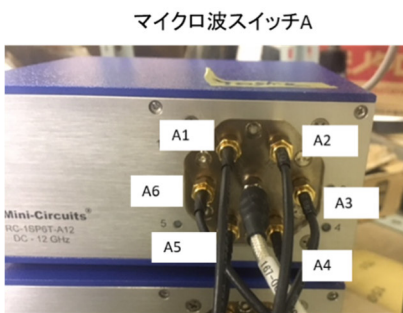
図5に周波数特性を時間パルスに変換したときのパルスの最大値の時間変化を示す。標準配合比では、受信強度は時間によって大きな変動がないが、5%水増量では余分な水分が下に移動してアンテナ部分に溜まってくるため、受信強度は時間とともに小さくなっている。また、水が移動中のため水分分布は不均質となり、正面方向に進む電磁波の振幅が小さくなることが予想される。しかし、さらに水分量が多くなると、水分飽和状態となり水の移動は少なくなり、アンテナ周りの水分分布は一様となる。したがって、受信量が再び増加するのではないかと考える。

以上の結果より、水、セメント、粗骨材、細骨材の配合比は提案したシステムを利用して比較的正確に推定できるのではないかと考えられる。しかし、コンクリートには上記以外の配合物が含まれることも多いため、さらなる検証が必要である。

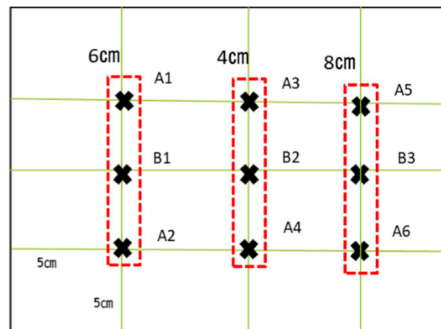
(2) 比誘電率の推定



(a) コンクリート試験体 ダイポールアンテナとスペーサー プローブ



6ポートマイクロ波スイッチ

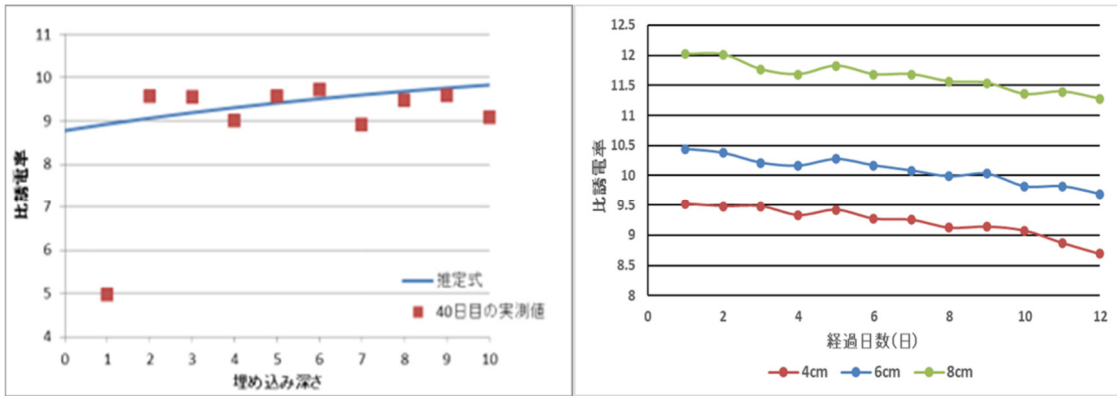


上下2重構造のアンテナの配置

図6 比誘電率測定用試験体と使用部品および機器

コンクリート試験体の比誘電率分布の深さ方向依存性と、時間変化を非破壊で検査するための試験体と測定方法を開発した。コンクリートに複数のプローブやアンテナを深さを変えて埋め込んだ試験体を複数作成した。比誘電率のモニタリングは標準的には3か月、最も長いもので2年間継続した。測定精度を向上させるためにマイクロ波スイッチを導入した(図6)。その結果を図7に示す。試験体を精度良く作り、測定にも注意を払うことにより、理論的な比誘電率の深

さ分布および、経日変化の特性を得ることができた。今回は標準配合比で実験を行ったので、今後は要求に応じた様々な配合比で実験を行い、配合比を考慮した比誘電率分布のモデルを作成したい。

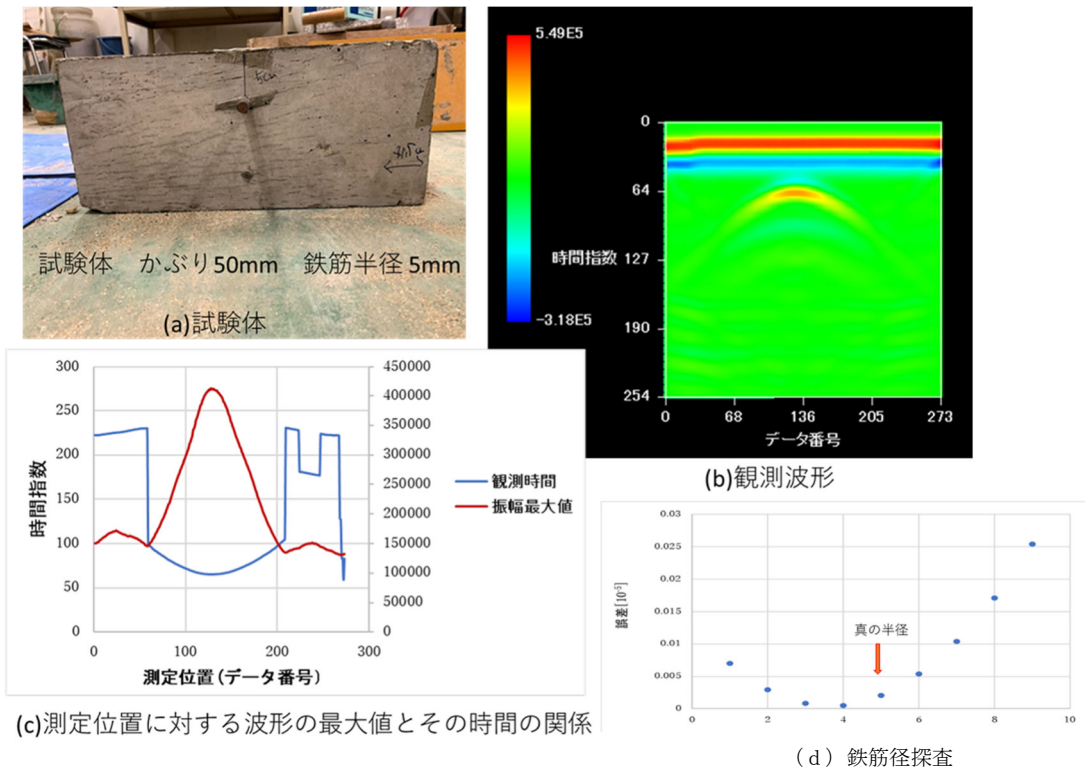


(a) 深さ分布特性

(b) 経日変化特性

図7 比誘電率の深さ特性と経日変化

(3) 鉄筋を利用した比誘電率分布推定アルゴリズムの開発



(c)測定位置に対する波形の最大値とその時間の関係

(d) 鉄筋径探査

図8 鉄筋探査

(2)においてコンクリートの比誘電率分布が測定できたとしても、それがどれだけの精度であるのか不明であるため、鉄筋からの反射波を利用した比誘電率分布の推定アルゴリズムを検討した。試験体に1本の鉄筋をかぶり5cmで埋め込んだコンクリート試験体を作成し、これまでに提案した鉄筋探査アルゴリズムを改良して、既知のかぶりと鉄筋径を用いた比誘電率推定法を提案した。精度を確かめるために、得られた結果を参考にして別の試験体の鉄筋探査を行った結果を図8(d)に示している。鉄筋径が0.5mmの誤差で求められていることが分かる。これによって、比誘電率も正しく求められていることが推測できる。

以上の結果を合体させて、鉄筋径とかぶりおよび比誘電率を同時に推定する高性能の鉄筋探査を実現することが今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 中村賢太・田中俊幸	4. 巻 SANE2020-52
2. 論文標題 コンクリートレーダを利用した高精度鉄筋探査	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 信学技報	6. 最初と最後の頁 72-77
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 板井 葵, 田中俊幸, 中村賢太, 森 高紀, 藤島奈記	4. 巻 Vol.119
2. 論文標題 ダイポールアンテナと電磁波レーダによるコンクリートの電気定数分布の測定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 信学技報 (SANE2019-93)	6. 最初と最後の頁 51-54
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 坂元涼, 田中俊幸	4. 巻 118-308
2. 論文標題 鉄筋探査における損失の影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報MW2018-106	6. 最初と最後の頁 71-76
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 馬場紫音, 平野貴大, 藤本孝文, 田中俊幸, 深山拓夢	4. 巻 118-418
2. 論文標題 フレッシュコンクリート成分評価用アンテナシステム ~ 第五報 ~	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 信学技報SANE2018-92	6. 最初と最後の頁 13-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中村賢太, 板井葵, 田中俊幸
2. 発表標題 コンクリートレーダを用いた鉄筋径推定精度向上のための到達時間補正の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会九州支部学生会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村賢太・田中俊幸
2. 発表標題 コンクリートレーダを利用した高精度鉄筋探査
3. 学会等名 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板井葵、三股誠司、坂元涼、田中俊幸
2. 発表標題 コンクリートの電気定数分布の測定と測定方法の改善
3. 学会等名 電子情報通信学会九州支部学生会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村賢太, 坂元涼, 板井葵, 吉儀海, 田中俊幸
2. 発表標題 電磁波レーダを利用した高精度鉄筋探査に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会九州支部学生会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤吉和樹、田中俊幸、森山敏文、廣重明男
2. 発表標題 T-FBTS法の有効性に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会九州支部学生会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤吉和樹・田中俊幸・森山敏文・廣重明男
2. 発表標題 タイムシフトFBTS法のノイズ耐性に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会2019年ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤吉和樹・田中俊幸・森山敏文・廣重明男
2. 発表標題 T-FBTS法のノイズ耐性に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三股 清司, 田中俊幸, 早田裕一郎
2. 発表標題 電磁波を利用したコンクリートの比誘電率分布の推定に関する研究と改良
3. 学会等名 電子情報通信学会九州支部学生会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂元 涼, 田中俊幸
2. 発表標題 コンクリートレーダを用いた鉄筋探査アルゴリズムの高精度化に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会九州支部学生会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂元 涼, 田中俊幸
2. 発表標題 鉄筋探査における損失の影響
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 馬場紫首, 平野貴大, 藤本孝文, 田中俊幸, 深山拓夢
2. 発表標題 フレッシュコンクリート成分評価用アンテナシステム ~ 第五報 ~
3. 学会等名 電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣重 明男, 田中俊幸, 森山敏文
2. 発表標題 FBTS法による無限長層状媒質の電気定数推定に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会九州支部学生会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平野貴大, 藤本孝文, 田中俊幸
2. 発表標題 フレッシュコンクリート成分評価用アンテナシステム ~ 第四報 ~
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂元 涼, 廣重明男, 田中俊幸
2. 発表標題 鉄筋探査アルゴリズムの種々の試験体への適用
3. 学会等名 電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣重明男, 田中俊幸, 森山敏文
2. 発表標題 FBTS法による層状媒質の電気定数推定に関する基礎研究
3. 学会等名 電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	森山 敏文 (Moriyama Toshifumi) (20452873)	長崎大学・工学研究科・准教授 (17301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藤本 孝文 (Fujimoto Takafumi) (40264204)	長崎大学・工学研究科・准教授 (17301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関