

愛知工業大学
プロジェクト共同研究シンポジウム

第 14 回（令和元年度、令和 2 年度）
シンポジウム予稿集

日 時 : 令和 3 年 11 月 29 日（月曜日）13 : 00～15 : 50

第14回（令和元年度、令和2年度） 愛知工業大学プロジェクト共同研究シンポジウム

総合技術研究所では、産学連携研究推進事業の推進を目的として令和元年度、2年度には28件のプロジェクト共同研究を実施しております。つきましては、この中の24件について研究成果報告を中心とするシンポジウムを下記要領で開催いたします。

日 時： 令和3年11月29日（月曜日） 13時00分～15時50分
令和3年12月1日（水曜日） 13時00分～15時35分
令和3年12月3日（金曜日） 13時00分～15時35分
実施方法： オンライン配信（ウェビナー）

総合技術研究所 所長 鈴置保雄

《シンポジウムプログラム》

研究成果発表

発表時間：A研究20分（講演15分、QA5分）、B研究15分（講演12分、QA3分）

11月29日（月）

13:00～13:10

挨拶、本学産学官連携の概要および進め方について

総合技術研究所 所長 鈴置保雄

<座長 岩田博之 教授>

13:10～13:30（A研究・新規）

「時系列トラストの検証法に関する研究」

情報科学科・教授 河辺義信、日本電信電話株式会社 NTT セキュアプラットフォーム研究所

13:30～13:50（A研究・継続）

「センサとインタラクション技術を活用した歩行リハビリ支援システムの開発」

情報科学科・教授 水野慎士、医療法人社団大室整形外科

13:50～14:10（A研究・継続）

「デジタル映像を用いた新しい生け花表現の創造に関する研究」

情報科学科・教授 水野慎士、一般社団法人龍生華道会

<座長 近藤元博 教授>

14:10~14:30 (A 研究・新規)

「地震動到着時の緊急対応と発災後の応急対応を支援する総合地震防災システムの構築」
土木工学科・教授 横田 崇、株式会社エーアイシステムサービス

14:30~14:50 (A 研究・継続)

「合成床板のコンクリートの充填、空隙および滞水検知装置に関する研究」
建築学科・教授 瀬古繁喜、日本車輛製造株式会社/
ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社

14:50~15:10 (A 研究・新規)

「コンクリート躯体の施工の信頼性向上技術の研究」
建築学科・教授 瀬古繁喜、株式会社竹中工務店

15:10~15:30 (A 研究・新規)

「キノン系化合物と多孔質炭素との複合化とその電気化学キャパシタ特性評価」
応用化学科・准教授 糸井弘行、川崎化成工業株式会社

15:30~15:50 (A 研究・新規)

「金属ナノ粒子と担体のナノレベルでの複合化により発現する物性の評価と TEM 観察による構造評価」
応用化学科・准教授 糸井弘行、株式会社豊田中央研究所

12月1日(水)

13:00~13:10

挨拶、本学産学官連携の概要および進め方について
総合技術研究所 所長 鈴置 保雄

<座長 津田紀生 教授>

13:10~13:30 (A 研究・新規)

「半導体デバイス洗浄における機械学習を用いた静電気障害の予知技術の確立」
電気学科・教授 清家善之、旭サナック株式会社

13:30~13:50 (A 研究・継続)

「超音波洗浄技術を用いた次世代半導体デバイスの洗浄技術に関する研究」
電気学科・教授 清家善之、本多電子株式会社

13:50~14:05 (B 研究・新規)

「人工知能によるアスファルト舗装面のひび割れ判別の実用化」
土木工学科・准教授 山本義幸、三陸土建株式会社

14:05~14:25 (A 研究・継続)

「交流/直流給電・配電における保護装置の開発」
電気学科・教授 雪田和人、日東工業株式会社

14:25~14:40 (B 研究・新規)

「生産工程で使える非接触データ入力手法の検討」
情報科学科・教授 塚田敏彦、合同会社YYCソリューション

14:40~14:55 (B 研究・新規)

「樹脂透明部分の外観検査手法の検討」
情報科学科・教授 塚田敏彦、株式会社三弘

<座長 小野木克明 教授>

14 : 55 ~ 15 : 15 (A 研究・新規)

「スマートワークを実現するためのデータ分析と可視化に関する研究」
情報科学科・教授 菱田隆彰、株式会社リオ

15 : 15 ~ 15 : 35 (A 研究・継続)

「IoT とエッジコンピューティングによるヘルスケアおよび FA システムの研究」
情報科学科・教授 中條直也、三菱電機エンジニアリング株式会社

12 月 3 日 (金)

13 : 00 ~ 13 : 10

挨拶、本学産学官連携の概要および進め方について
総合技術研究所 所長 鈴置 保雄

<座長 羽田裕 教授>

13 : 10 ~ 13 : 30 (A 研究・新規)

「燃料多様化に対応した燃焼解析」
機械学科・教授 西島義明、株式会社豊田自動織機

13 : 30 ~ 13 : 50 (A 研究・継続)

「噴霧燃焼解析によるエンジンの熱効率改善」
機械学科・教授 西島義明、株式会社デンソー

13 : 50 ~ 14 : 05 (B 研究・新規)

「深紫外光を用いたウイルス対策機器の研究・開発」
電気学科・教授 古橋秀夫、ステリエルエアージャパン株式会社/
株式会社 AIKI リオテック/株式会社池戸溶接製作所

14 : 05 ~ 14 : 20 (B 研究・新規)

「自動車消費者潜在ニーズの調査および解析」
経営学科・講師 福澤和久、株式会社矢野経済研究所

<座長 小野木克明 教授>

14 : 20 ~ 14 : 40 (A 研究・新規)

「RFID と画像認識技術を融合した次世代データ解析システムの研究開発」
情報科学科・准教授 内藤克浩、Ultimatrust 株式会社

14 : 40 ~ 15 : 00 (A 研究・継続)

「IoT サービス用シームレスプラットフォームシステムの基礎研究」
情報科学科・准教授 内藤克浩、株式会社モビリン

15 : 00 ~ 15 : 15 (B 研究・新規)

「セキュリティ通信プロトコルを使用する Edgexcross システムの研究」
情報科学科・准教授 内藤克浩、三菱電機株式会社

15 : 15 ~ 15 : 35 (A 研究・継続)

「FA 機器の相互作用を考慮した保守管理と同期制御手法の検討」
情報科学科・准教授 梶 克彦、三菱電機株式会社名古屋製作所

閉 会

時系列トラストの検証法に関する研究

[研究代表者] 河辺 義信 (情報科学部 情報科学科)
[共同研究者] 水野 忠則 (情報科学部 情報科学科)
大久保一彦 (日本電信電話株式会社)
福永 利徳 (日本電信電話株式会社)
五郎丸秀樹 (日本電信電話株式会社)

研究成果の概要

近年の大規模災害においては、被災者の安否情報や救援情報の交換にソーシャルメディアが積極的に活用され、早期の安否確認や人命救助などに役立てられている。しかし災害時に交換される情報は、すべてが信頼できるとは限らない。たとえば、2018年の大阪府北部地震では、その当日中にツイッター上に「シマウマが脱走した」「京セラドーム大阪の屋根に亀裂が入っている」「京阪電車が脱線している」などのデマ情報が流され、リツイートされて混乱を引き起こした。ソーシャルネットワークで交換される情報がどれだけ信じられるのか、情報の発信元のユーザはどれだけ信じてよいか、といった、「トラスト (信頼)」の評価が重要となっている。

本共同研究の目的は、トラストをフォーマルに定式化し、正しさを形式検証することである。時々刻々と変化するトラストを検証するため、本研究では分散アルゴリズム理論を適用して、トラストに関する安全性を検証した。加えて、トラストの反対にあたる状態は「トラストがない状態」という観点から、信頼の欠乏に関する検討も行った。

研究分野：形式手法，プログラム理論，セキュリティ検証，プライバシー，トラスト

キーワード：トラスト，分散アルゴリズム理論，トレース集合，定理証明ソフトウェア，ファジィ理論

1. 研究開始当初の背景

近年、大規模な事故・災害・病気の蔓延などの非常事態においてソーシャルメディアが利用されている。そこで交換される情報は、すべてが信頼できるとは限らない。情報がどれだけ信じられるのか、などの「トラスト (信頼)」の評価が重要になっている。トラストを数理的に扱う試みとして、Marshらの定式化がある。ここではトラストが-1から1の間の評価値 (トラスト値) で与えられ、さらに人の心的状態を「トラスト (信頼)」「ディストラスト (不信)」など4種類に分類している。

Marshらは、完全なる不信 (トラスト値=-1) から完全なる信頼 (トラスト値=1) までを、1次元的な指標で扱った。しかし、従来の理論では「信頼しているが、不信感もある」という矛盾や「信頼も不信もない」といった無関心を扱えなかった。これを解決するため、研究代表者は予備研究において、信頼と不信の組をトラスト値とする「2次元トラスト値」を導入している。

2. 研究の目的

上述の研究では、トラストに関する矛盾や無関心を扱うことに成功し、類似の理論 (主観論理) に対する優位性も示している。しかし、以下の2点に課題があった。

① 予備研究の結果は、ある瞬間におけるトラストに関する結果である。しかし実際のソーシャルメディア上のメッセージや参加者のトラストは、時々刻々と変化する。そのため、大規模災害時における被災者やボランティア間の協力関係の構築を行うために、トラスト値の変化を定式化し、予測できるようにする必要がある。

② Marshらの研究では、トラストの対義語はディストラストであるが、トラストの対義語は「信頼がないこと (信頼の欠乏)」だと主張する学派がある。トラスト値の時系列的な推移を「信頼量の増減」と考えれば、直感的な理解が容易になると期待できるが、信頼の欠乏については、定式化が行われていなかった。

本研究の目的は、これらの課題を解決することである。

3. 研究の方法

2次元トラスト値を状態と考えれば、トラストの時系列的な変化は、オートマトンで扱える。I/Oオートマトン理論では、実行列をあらわす「トレース」を用いて、「悪い振舞いが発生しない」ことを表す安全性と呼ばれる性質を分析できる。2次元トラスト値にあてはめれば、たとえば「ディストラストの状態に至らない」は安全性である。このアイデアに基づき、I/Oオートマトン理論を応用して、トラストを分析する。

さらに「信頼の欠乏」を考えるため、2次元トラスト値からトラスト量への写像を定める。これについては、ファジィ理論の結果（逆転項目平均法）を適用し、トラスト値の時系列的な増減をモデル化する。

4. 研究成果

(1) トラストに関する「安全性」の検証手法

トラストの安全性を、論理式で表し検証する。述語

$$\begin{aligned} & \text{stepTrustSafe}(s) \\ \iff & (s.tr, s.dis) \notin D \\ \implies & \forall a \in \text{sig}(X) \forall s' \in \text{states}(X) \\ & [s \xrightarrow{a}_X s' \implies (s'.tr, s'.dis) \notin D] \end{aligned}$$

を用いると（これは「状態 s がディストラストでないならば、その次の状態もディストラストでない」を表す）、「信頼を失うことはない」という安全性は

$$\begin{aligned} & \forall s \in \text{start}(X) [(s.tr, s'.tr) \notin D] \\ \wedge & \forall s \in \text{state}(X) [\text{stepTrustSafe}(s)] \end{aligned}$$

を証明することで保証できる。ただし、これは必ずしも効率的な手法ではない。そこで本研究では、効率的な証明法を考案した。具体的には、仕様（オートマトン）をふたつ用いる。一方は安全性が自明な仕様 S 、他方は通信システムの仕様 I である。 S と I のトレース包含が示されれば、 S の安全性から I の安全性を導ける。本研究では I として SNS システムの設計図を記述し、I/O オートマトン理論の「フォワードシミュレーション法」を適用した。この証明は定理証明ソフトウェアを用いて自動で行った。図 1 に、定理自動証明の様子を示す。本実験では、小型サーバ（Dell PowerEdge T110。CPU は Celeron G1620@2.7GHz。メモリは 32GB）を用い、仮想計算機上で、数十秒で証明を完了できた。以上により、安全性検証が可能であることが、実証的に示された。

図 1：計算機による自動定理証明

(2) 「信頼の欠乏」のモデリング

信頼の欠乏と類似の概念として「信頼不足」という概念が知られており、これは Mars hらによるトラスト研究の初期の論文にも議論がある。本研究では、信頼不足を拡張して信頼の欠乏を定義することを試みた。

信頼不足や信頼の欠乏を考えるとき、暗黙的にトラストを量で測っていることになる。つまり、対象を信用している状態では十分なトラスト量があり、信頼不足の状態ではトラストの量が十分ではない。また信頼の欠乏の状態では、トラストの量がないと考えられる。

このアイデアに基づき、本研究では、2次元のトラスト値からトラスト量への写像を $q(t, d) = t - d$ で与えた。この変換式は単純だが、ファジィ理論の「逆転項目平均法」という手法（真の度合いと偽の度合いから、「正味の」真の度合いを求める手法）の応用であり、変換の妥当性はファジィ理論に基づき、保証される。

さらに、信頼性理論における「システムを安定運用する際の、不具合受け入れの許容量」と同様の考え方にに基づき、信頼の欠乏を数理的に定義することを試みた。

5. 本研究に関する発表

(1) Toshinori Fukunaga, Hideki Goromaru, Tadanori Mizuno, Kazuhiko Ohkubo, Yoshinobu Kawabe, “How to Theorem-Prove Trace-Based Safety Properties,” Int. J. of Informatics Society, accepted (2020).

(2) 河辺 義信, 水野 忠則, 五郎丸 秀樹, “信頼の欠乏の数理的定義に向けて”, 日本知能情報ファジィ学会・ソフトサイエンス研究部会, 第 30 回ソフトサイエンスワークショップ, 2020 年

センサとインタラクション技術を活用した歩行リハビリ支援システムの開発

[研究代表者] 水野慎士 (情報科学部情報科学科)

[共同研究者] 恒藤慎也, 池本圭祐 (医療法人社団大室整形外科脊椎・関節クリニック)

研究成果の概要

効果的なリハビリには、施設、器具、医療スタッフの充実に加えて、患者自身のリハビリに対するモチベーションの維持が重要となる。本研究では歩行リハビリに対してセンサとインタラクション技術を適用して、リハビリ効果の可視化とリハビリへのエンタテインメント性の導入という 2 つの方針によって効果的なリハビリを実現するシステムの開発を行う。

2020 年度は、リハビリ効果の可視化に関して、足接地位置と上体姿勢の同時取得と関連性の検証や、足裏圧力取得システムの開発などを行った。また、リハビリへのエンタテインメント性の導入に関して、横向き歩行用のインタラクション映像の開発、歩行距離の取得と記録、タブレットを用いた歩行記録閲覧システムの開発などを行った。そして、開発した手法およびコンテンツは国内の学会で発表した。

研究分野：画像情報工学

キーワード：リハビリ支援, インタラクション, センサ, CG

1. 研究開始当初の背景

超高齢化社会の日本ではリハビリを必要とする人が増加傾向にあり、厚生労働省の推計によると、医療・介護分野での需要は、2018 年と比較して 2025 年には 1.24 倍、2040 年には 1.38 倍となっている。そのため、リハビリ施設や医療従事者の供給と共に、リハビリ分野での IT の活用の期待が高まっている。特に、患者の動作に対してリアルタイムに反応するインタラクション技術の活用は、リハビリ実施中に状況をリアルタイムで確認できるため、様々なリハビリの種類やその目的に合わせて効果的にリハビリを行うための IT 活用事例が近年いくつも提案されている。

効果的なリハビリには、施設、器具、医療従事者の充実に加えて、患者自身のリハビリに対するモチベーションが非常に重要となる。しかし、リハビリの辛さや効果の実感のなさから、多くの場合に患者のリハビリへのモチベーションが低下することが問題となっている。そこで、リハビリに対する患者のモチベーションの維持向上を目指したインタラクティブシステムもいくつか提案されている。

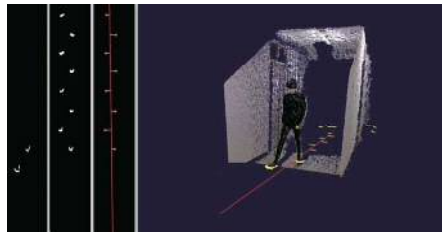
ただし、既存のリハビリ支援用インタラクティブシステムは、医療従事者もしくは患者のいずれかのみを対象としたものがほと

んどで、十分に実用化されているとも言いがたい。これは、効果的なリハビリを実現するには、一般的な医療行為と異なり医療従事者だけでなく患者自身が高いモチベーションを持って協力して取り組む必要があるからであり、現状のインタラクション技術を活用したリハビリ支援システムは、そのような要望に十分に答えられていない可能性がある。

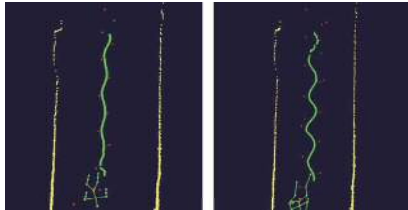
2. 研究の目的

本研究ではインタラクション技術を活用することで、患者にとっても医療従事者にとっても有用で効果的なリハビリを実現するリハビリ支援システムの提案と開発を行う。リハビリには様々な種類があるが、本研究では歩行リハビリに特化したリハビリ支援システムの開発を行う。歩行リハビリの大きな目的は日常生活に不可欠な基本動作や移動能力の回復、獲得を目指すことであり、歩行は最も基本的な移動能力として非常に重要で他の基本動作の土台にもなるからである。

提案システムでは、映像技術やインタラクション技術を活用することで、「効果の実感」と「楽しさ」という 2 方向から患者の歩行リハビリに対するモチベーションを維持向上することを目指す。そして、リハビリ結果を数値や可視化情報として提供、

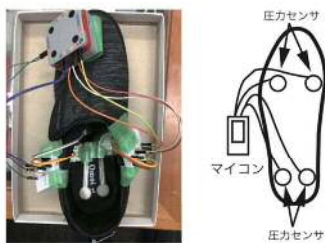


(a) 取得中の様子

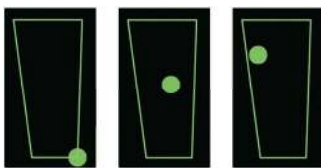


(b) 歩行の違いによる歩幅と重心位置の変化

図1 足接地位置と上体姿勢の同時取得



(a) 足裏圧力取得用の靴



(b) 歩行中の足裏圧力重心の移動の様子

図2 足裏圧力取得システム

蓄積することで、患者と医療従事者のどちらにとっても有用なシステムとする。これらを実現するために、複数のセンサを組み合わせてながら、リハビリ中の患者の歩行中の動作に関する様々な情報を同時にリアルタイムで取得して、瞬時に映像やサウンドに反映させるとともに、取得したデータを分析する。

3. 研究の方法

本研究では、「効果の実感」と「楽しさ」でモチベーションを維持向上しながら効果的な歩行リハビリを支援するためのシステムの基盤技術の開発を行った。

「効果の実感」のため、本研究ではリハビリ効果の可視化を行う。そのためには歩行情報の取得が必要である。2019年度は歩行情報として、レーザセンサで足接地位置を取得して、歩幅と歩隔の計測を行った。またマーカレスモーションキャプチャ技術を用いて上体骨格座標を取得



図3 横向き歩行を促す床面映像



図4 歩行リハビリ履歴閲覧システム

して、重心位置の計測を行った。

そして、2020年度はレーザセンサとマーカレスモーションキャプチャ技術を同時に適用することで、足接地位置と上体骨格座標を同時に取得する手法を開発した。その結果、歩幅、歩隔、重心位置の関連性を検証することが可能となった。実際に若い人の歩行と高齢者を模した歩行で歩隔と重心位置が連動して変化することを確認した(図1)。

また、新たな歩行情報として足裏圧力を取得するシステムを開発した。これは圧力センサを内蔵した靴を用いており、センサ値をワイヤレスでシステムに送信して、システム側では圧力の推移や圧力重心の移動を画像として可視化する。実験では、歩き方によって足裏圧力の移動の仕方が変化することを確認した(図2)。

「楽しさ」のため、本研究ではインタラクティブ映像を用いる。2020年度は、映像を見ながら横に移動する必要がある映像を考案することで、横向き歩行を促すインタラクティブ床面映像を新たに制作した(図3)。また、歩行距離を計測したり、歩行状態を録画する機能を追加した。そして、記録した歩行リハビリ履歴をタブレットで閲覧できるシステムを開発した(図4)。

4. 本研究に関する発表

(1) 松岡基揮, 水野慎士, “歩行リハビリの支援と実施履歴を管理するシステムの提案と開発”, 情報処理学会 DICO2021 論文集, pp. 798-804 (2021).

デジタル映像を用いた新しい生け花表現の創造に関する研究

[研究代表者] 水野慎士 (情報科学部情報科学科)

[共同研究者] 吉村 剛 (一般社団法人龍生華道会)

研究成果の概要

本研究では、生け花とデジタル技術を組み合わせた新しい生け花作品の創造を可能にする技術や表現に関する研究を行う。ここでは、CG、ディスプレイ、センサ、サウンド、ロボット等の技術を用いて、生け花本来の魅力をより引き上げることができる新しい表現方法を研究する。そして全国各地で開催される花展やイベントにおいて制作した作品を展示する。

2020年度は、生け花と組み合わせるためにこれまで開発してきた映像技術やセンサ技術の有用性を実証するため、生け花とデジタル技術を組み合わせた新しいインタラクティブデジタルコンテンツの制作を行った。具体的には、レーザーセンサ、深度カメラを用いた映像技術と霧を組み合わせ、生け花とCG映像が融合したコンテンツを制作した。また、マーカレスモーションキャプチャ技術とCG技術を融合して仮想的な生け花が体験できるインタラクティブコンテンツを制作した。

そして、東京で開催された生け花龍生派の花展で展示して来場者に披露した。コンテンツの内容および使用したデジタル技術については国内の学術会議で発表した。

研究分野：画像情報工学

キーワード：CG, 生け花, センサ, インタラクション

1. 研究開始当初の背景

生け花は室町時代に始まった日本古来の芸術で、江戸時代は朝廷や武家などの上流階級の座敷を飾り、江戸中期以降からはたしなみの一つとして一般の人にも広がってきた。そして現在でも、ホテルや百貨店、イベントなどを彩る必需品となっている。さらに近年は、ミラノ万博日本館(チームラボ・2015年)やFLOWERS BY NAKED(NAKED・2016年)など、プロジェクションマッピングと組み合わせた生け花が日本独自の芸術として世界からも注目を集めている。

そこで本研究では、生け花とデジタル技術を組み合わせた新しい生け花作品の創造を可能にする技術や表現に関する研究を行う。ここでは、CG、ディスプレイ、センサ、サウンド、ロボット等の技術を用いて、生け花本来の魅力をより引き上げることができる新しい表現方法を研究する。そして全国各地で開催される華展において作品を展示する。

本研究の完成によって、若い人など生け花にあまり関心のなかった人たちにも生け花作品に興味を持ってもらえ

るきっかけを与えることが期待できる。そして、生け花と最新デジタル技術を組み合わせた日本発の新しいコンテンツとして、世界にインパクトを与えることが可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が持つCG技術やインタラクション技術を、共同研究者が主催するいけばな龍生派の生け花に適用することで、新たな生け花表現を創造する。

いけばな龍生派は伝統的な作法による「古典華」と様々なライフスタイルの中で個性を表現する「自由華」がある。本研究では「古典華」の生け花を生かしながら映像等のデジタル技術で演出する手法、およびデジタル技術を積極的に活用した「自由華」の提案、という2つのアプローチで研究を進める。また、生け花を置く環境全体をデジタル技術で演出する手法や、開発技術の他の分野への応用も行う。

3. 研究の方法

2020年度は、生け花と組み合わせるためにこれまで開発してきた映像技術やセンサ技術の有用性を実証するため、生け花とデジタル技術を組み合わせた新しいインタラクティブデジタルコンテンツの制作を行った。具体的には、レーザセンサ、深度カメラを用いた映像技術と霧を組み合わせ、生け花とCG映像が融合したインタラクティブコンテンツ「霧中幻花」を制作した。

また、マーカレスモーションキャプチャ技術とCG技術を融合して仮想的な生け花が体験できるインタラクティブコンテンツ「バーチャル生け花」を制作した。

(1) 「霧中幻花」

「霧中幻花」は「光の華舞う道の先には…」というサブタイトルが付いたインタラクティブコンテンツで、光が舞い上がる通路と霧に浮かぶ生け花の2つのパートで構成されている(図1)。光が舞い上がる通路では、鑑賞者の歩みに合わせて通路両側で光が舞い上がり、通路の先に流れていく。そして、流れた光が進む先には霧の中に浮かぶ自由華の生け花がある。鑑賞者が生け花の前に立って霧の上に手を伸ばすと、光が手のひらに差し込む。そして、光は生け花が浮かぶ霧の中に落ちて、霧の中で光が流れて混じり合いながら、霧に浮かぶ生け花を照らしていく。

①光が舞い上がる通路

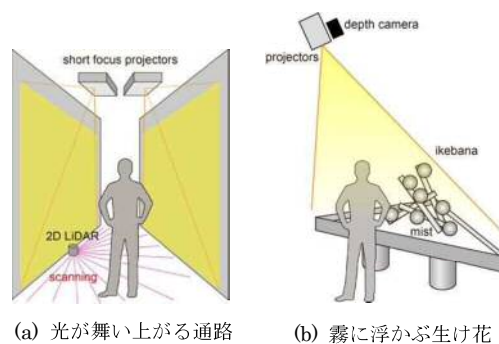
システムは、2台の超短焦点プロジェクタ、1台のレーザセンサ、PCで構成されている(図2(a))。

通路内に立つ人の足の位置の二次元座標は、レーザセンサのスキャン結果を二値画像化して領域抽出処理を行うことで取得する。これは2019年度に制作した「CGの池」で用いた手法と同じである。

映像生成は壁に相当する二次元空間で行う。まず、二次元空間の最下部で、足位置に相当する座標にオブジェクトを多数発生させて、上方の初期速度をランダムに与えて放出する。そして、放出されたオブジェクトに重力、空気抵抗、通路進行方向への力を加えながら速度を逐次更新して、その速度で位置を逐次更新する。これにより、放出されたオブジェクトは壁に相当する二次元空間の上方に飛び出した後、徐々に落ちながら通路進行方向に移動していく。オブジェクトの映像表現は、位置の更新結果を線で結びながら徐々に透明度を高める。これにより、オブジェクトの軌跡が流れ星のような光の筋として表現される。また、初



図1 「霧中幻花」



(a) 光が舞い上がる通路 (b) 霧に浮かぶ生け花

図2 「霧中幻花」のシステム構成

期速度によってオブジェクトの色を赤から青に変化させることで、光の筋の集合がグラデーションを生み出す。

②霧に浮かぶ生け花

システムは、1台のプロジェクタ、1台の深度カメラ、PCで構成されている(図2(b))。プロジェクタと深度カメラは生け花の上方に設置している。また、超音波霧発生機を花器の水の中に設置して、花器を霧で満たしている。

上方に設置された深度カメラは、生け花や花器全体を対象として深度画像を取得する。システムは初めに生け花だけの状態で深度画像を取得して背景深度画像として、以降は現時点の深度画像と背景深度画像との差分を求める。花器の上に手を伸ばしたときに上方からの深度が変化するため、差分画像では手や腕の領域だけが抽出される。そして、領域の特徴量解析を行って、手のひら座標を取得する。

システムはCG空間内の手のひら座標にCGオブジェクトを生成する。CGオブジェクトは円形や葉の形状の二次元物体で、色はランダムで決定する。プロジェクタのキャリブレーションによって、手のひら座標に配置したCGオブジェクトをプロジェクタで投影すると、CGオブジェ



図3 「バーチャル生け花」

クトは手のひら上に投影される。

投影された CG オブジェクトは、手のひらを外すとそのまま花器の中の霧に投影される。霧に投影された映像は、半透明感と立体感を併せた独特の雰囲気を持つ。CG オブジェクトに前方初期速度を与えて、花器中央付近からの引力も加えることで、花器中央を焦点とする楕円軌道で移動する。その際、CG オブジェクトの透明度を徐々に高めながらサイズも拡大していく。その結果、手のひらから落ちた複数の CG オブジェクトが、霧の中で少しずつ混ざり合いながら広がっていくような表現を実現している。

CG オブジェクトが移動することで、プロジェクタから投影される CG オブジェクト映像の一部は生け花本体に掛かる。手のひらから発生して移動した CG オブジェクトは、混ざり合いながら淡い光で生け花を照らす。

(2) 「バーチャル生け花」

「バーチャル生け花」はジェスチャで生け花を仮想的に体験できるコンテンツである (図 3)。体験者が画面の前に立つと、コンテンツが自動的に始まって花器の選択画面となり、体験者の両手の位置に合わせてカーソルも表示される。体験者は手を動かしてカーソルを操作して花器を選択してから、生け花制作モードに入る。

生け花制作モードでは、体験者はカーソルを操作して、生ける植物の種別として花か葉を選択する。そして、手を大きく振り上げると、選択した種別の植物が花器に生けられる。このとき、植物の生ける方向は手を振り上げた方向と同じであり、植物のサイズは手を早く振るほど大きくなる。生けられる植物として、花は 6 種類、葉は 7 種類用意されており、それぞれの種別からランダムで選択される。想定とは異なる植物が生けられた場合には「戻る」ボタンで生ける前の状態に戻すことができる。

システムは、Kinect とプロジェクタが PC に接続された構成となっている。そして、植物を生けるための振り上げ操作は、体験者の左右の手のひら骨格座標に基づいて検

出する。初めに、手のひらの骨格座標が腰の骨格座標からしきい値以内 (実験的に 30cm) にあるとき、振り上げ動作の検出を開始する。そして、一定時間以内 (実験的に 0.6 秒) に手のひらの骨格座標が頭部骨格座標よりも高い位置に移動したとき、手を振り上げた判定する。そして、振り上げ動作検出開始時の手のひらの座標と振り上げ判定時の手のひらの座標を用いて、表示画面に対する手のひらの二次元的な移動方向と移動量を計算する。振り上げる速度が大きければ、計測される移動量は大きくなる。

生け花用に用意された花と葉の画像に対して、得られた手のひらの移動方向と移動量を適用して、表示用の CG 空間に画像を配置する。これにより、手を振り上げるジェスチャによって画面内に花や葉がインタラクティブに生けられる。そして、振り上げる方向や速さによって花や葉を生ける角度や大きさをコントロールすることもできる。

4. 花展でのコンテンツ展示

制作した「霧中幻花」と「バーチャル生け花」は、2020 年 11 月 22 日と 23 日に東京の渋谷ストリームホールで開催された「いけばな龍生展 植物の貌 2020」において、一般的な生け花と合わせて展示された。

「霧中幻花」には 2 日間で約 80 人の鑑賞者があった。鑑賞者は自身も花展に出展している人が多く、伝統的な生け花に関する経験や知識は豊富であったが、高齢者を含むさまざまな年代の鑑賞者に非常に好評であった。

「バーチャル生け花」は 2 日間でのべ 300 人程度が体験した。体験者は生け花出展者の家族である小学生が最も多かった。子供達は生け花というよりは、単純にコンテンツとして楽しんでいる様子で、何度も体験する子供も少なかった。

5. 本研究に関する発表

(1) 高崎真由美, 朝倉麻友, 水野慎士, “いけばなを題材としたデジタルコンテンツ「霧中幻花」と「バーチャルいけばな」の制作”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2020-DCC-27, No. 33, 7 pages, 2020 (DCC 優秀賞受賞).

(2) M. Takazaki, M. Asakura, S. Mizuno, “Creating Interactive Digital Contents MUCHU GENKA and VIRTUAL Ikebana Based on Japanese Flower Arrangement, Proc. of IEEE GCCE 2021, 2021 (採録決定).

地震動到着直前の緊急対応と発災後の応急対応を支援する 総合地震防災システムの構築

[研究代表者] 横田 崇 (工学部土木工学科)
[共同研究者] 倉橋 奨 (工学部土木工学科)
落合鋭充 (㈱エーアイシステムサービス)

研究成果の概要

近年の発生が危惧される南海トラフ地震は、発生形態に多様性があり、生成する地震動や被害をあらかじめ予測することが難しい。また、巨大地震の前後には、内陸地震（直下型地震）が誘発されることが指摘されており、南海トラフ地震を含む突発的な地震に対する地震被害軽減が必要である。本研究では、建物に設置した地震計記録を用いた地震被害軽減システムを構築することを目的とする。具体的には、建物の1階と最上階に地震計を設置し、その記録から(1)直下型地震に対応したオンサイトワーニングシステム、(2)長周期地震動に対応したワーニングシステム、(3)建物被害判定のための建物振動モニタリングシステム、(4)面的な情報による地域被災予測情報、を包括化し総合地震防災システムである。

(1)オンサイトワーニングシステムでは、2016年熊本地震と2019年山形県沖の地震の観測記録を用いて、即時震度時刻歴と即時震度増加率を算出し、震源からの距離の推定及びオンサイト地震警報の可能性を分析した。2016年熊本地震の分析では、震央距離との関係性よりP波着信時で急激に震度上昇がみられるが、震央距離近い観測点ではそれが顕著にみられる。また、震央距離が近いほど、震度増分が大きいことがわかった。一方で、即時震度増加率と震央距離の関係は、マグニチュードには依存していないことがわかった。(3)建物被害判定のための建物振動モニタリングシステムでは、常時微動観測記録により、最上階は時計台の固有周波数とみられる1.3Hz（固有周期：0.77秒）が明瞭にみられた。一方で、逆重畳波については、明瞭は上昇波と下降波が見られていない。この理由として、スタック数が少ないことや、時計台の下位階が旧本部棟と連結しており、上昇波と下降波が理想的に分離できていないなどが考えられる。今後、さらなるデータの蓄積をし分析を進める。

研究分野：地震学・防災情報学

キーワード：建物被害判定、建物振動モニタリングシステム、常時微動、地震観測

1. 研究開始当初の背景

日本は地震大国であり、最近5年間だけでも2016年熊本地震、2018年大阪府北部の地震、2018年北海道胆振東部地震などの被害地震が発生し、中部圏では2020年長野県・岐阜県・岐阜県境の群発地震などの活発な地震活動が発生している。将来的には、多様な発生形態が想定される南海トラフ巨大地震のみならず、この地震前後に誘発される内陸地震の発生も指摘されており、突発的な地震に対する地震被害軽減、特に人的被害の軽減策を講じることが必要である。

2. 研究の目的

この突発的な地震に対する地震被害の軽減策として、建物に設置した記録を用いる方法が考えられる。本研究では、建物の1階と最上階に地震計を設置した記録を用いた4つのテーマの研究を実施する。(1)直下型地震に対応したオンサイトワーニングシステム、(2)長周期地震動に対応したワーニングシステム、(3)建物被害判定のための建物振動モニタリングシステム、(4)面的な情報による地域被災予測情報の提供システム、を包括化した総合地震防災システムを構築する。

3. 研究の方法

4テーマの研究内容を以下に示す。

(1)直下地震対応オンサイトワーニングシステム：緊急地震速報の発表が、震源に近い場所では間に合わないという弱点を補うために、単独観測点処理などを併用したワーニングシステムである。本研究では、2016年熊本地震と2019年山形県沖地震における複数観測点の即時震度時刻歴から、計測震度の立ち上がり具合を分析し、より早期に震源位置の推定を試みる。

(2)長周期地震動に対応したワーニングシステム：対象建物に設置した地震計により、平時は建物の応答特性の抽出を行う。地震時は、抽出した応答特性と地表観測記録から上階の地震動を予測し、大きく揺れる前にアラートを出すシステムである。

(3)建物被害判定のための建物振動モニタリング：王他(2012)による逆重畳法を基に、常時微動記録から建物内の上昇波と下降波を抽出し、その伝播時間からせん断波伝播速度を推定する。図1に解析結果の一例を示す。図1の1、2階には2つのパルス波形がみられる。これが上昇波と下降波を表現しており、この波形よりせん断波伝播速度が推定可能となる。

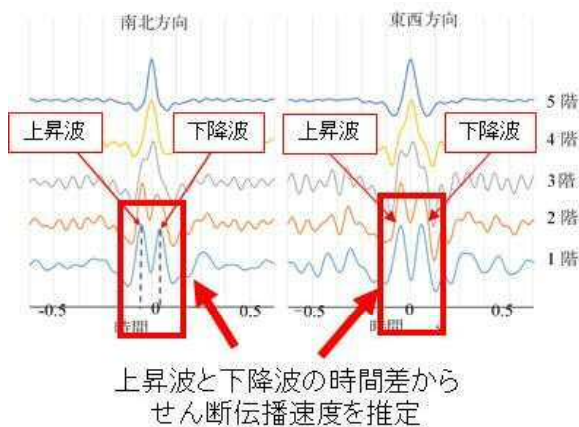


図1 常時微動から算出される逆重畳波の一例。上昇波と下降波の時間差からせん断波伝播速度を推定する。

(4)面的な震度予測と地域被災予測情報の提供：地点ごとの情報のみではなく、建物分布、人口分布、地域の地盤情報を基に、面的な揺れの分布、地域での被害の発生状況等を推定する。

4. 研究成果

(1)直下地震対応オンサイトワーニングシステム

2016年熊本地震と2019年山形県沖の地震の観測記録を用いて、即時震度時刻歴と即時震度増加率を算出し、震源からの距離の推定及びオンサイト地震警報の可能性を分析した。即時震度時刻歴と即時震度増加率の算出方法は以下の通りである。

①加速度観測記録から気象庁が震度の計算に利用する震度フィルタに近似する IIR フィルタを施した波形を3成分ベクトル合成し、即時震度変換することで即時震度時刻歴を算出する。また、即時震度時刻歴を時間微分することで即時震度増加率を算出する。図1に2019年山形県沖の地震の YMT004 観測点の一例を示す。

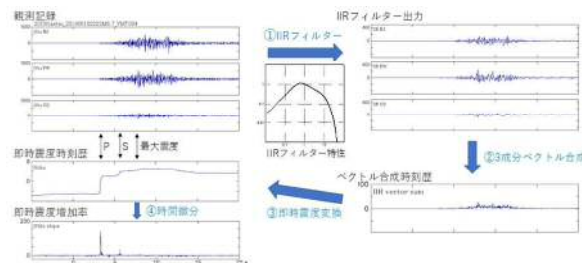


図1 2019年山形県沖の地震の YMT004 観測点の一例

2016年熊本地震と2019年山形県沖の地震における震源距離別に並べた即時震度時刻歴と即時震度増加率および震央距離との関係性をみると、どの距離でもP波着信時に急激に震度上昇がみられるが、震央距離近い観測点ではそれが顕著にみられることがわかった。また、震央距離に近いほど、震度増分が大きいことがわかった。一方で、即時震度増加率と震央距離の関係は、マグニチュードには依存していないことがわかった。

(2)長周期地震動に対応したワーニングシステム

本研究については、比較的高層建物での下位階および上層階での観測記録が重要となる。一方で、愛知県は地震発生数が少なく、明瞭な震動源となる観測記録が期待できない。そこで、明瞭な震動源となる地下鉄や鉄道沿線近傍での観測を試みている。現在、愛知県内での観測準備をしている。

(3)建物被害判定のための建物振動モニタリング

昨年度、プロ研Bにて、愛知工業大学内の旧本部棟に繋がる時計台（高さ35m）の最上階と最下階に株式会社エイツー社製の小型地震計を設置している。地震計

設置の様子および地震観測システム概要図を図 2、3 に示す。なお、地震計システムは、当初は学内無線 LAN を使用していたが、通信が頻繁に途切れたことから、SIM による通信方法に変更した。



図 2 地震計設置概要図および設置写真

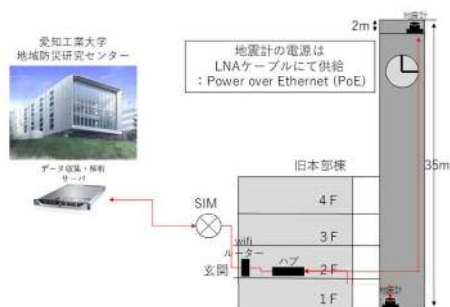


図 3 地震観測のシステム概要図

図 4 に 2021 年 5 月 31 日 14 時 30 分～50 秒間における時計台最上階および 1 階の NS 成分の微動観測記録を示す。図 5 左図にはそれぞれの加速度フーリエスペクトルを、右図には 14 時 00 分～15 時 00 分における逆重畳波を示す。なお、対象周波数は 0.5～10Hz、サンプリング周波数は 500Hz である。

常時微動波形および加速度フーリエスペクトルより、最上階は時計台の固有周波数とみられる 1.3Hz (固有周期: 0.77 秒) が明瞭にみられる。逆重畳波については、図 1 で示したような明瞭は上昇波と下降波が見られない。この理由として、スタック数が少ないことや、時計台の下位階が旧本部棟と連結しており、上昇波と下降波が理想的に分離できていないなどが考えられる。今後、さらなるデータの蓄積をし、分析を進める。

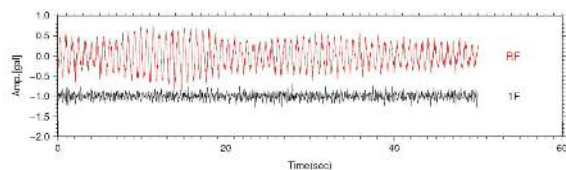


図 4 常時微動観測記録 (上段: 最上階、下段: 1 階)

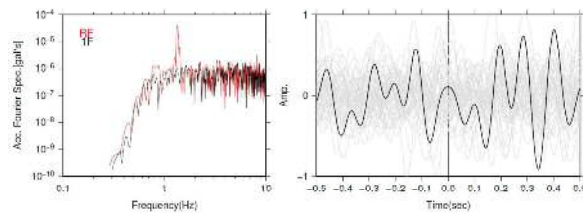


図 5 左図: 加速度フーリエスペクトル、右図: 逆重畳波。灰色線は 50 秒間ごとの逆重畳波を示す。

(4) 面的な震度予測と地域被災予測情報の提供:

現在は、文献調査の段階である。来年度は引き続き文献調査を進めるとともに、面的な震度予測するための手法や地域被災予測手法について、検討を行う予定である。

5. まとめ

南海トラフ巨大地震および突発的な地震に対する地震被害の軽減策として、建物の 1 階と最上階に地震計を設置した記録を用いた 4 つのテーマの研究を進めている。(1) 直下地震対応オンサイトワーニングシステムでは、2 地震における即時震度時刻歴と即時震度増加率および震央距離との関係から、震央距離近い観測点では P 波着信時で急激に震度上昇がみられた。また、即時震度増加率と震央距離の関係は、マグニチュードには依存していないことがわかった。(2) 建物被害判定のための建物振動モニタリングでは、愛知工業大学の時計台の微動観測記録の蓄積を実施している。微動記録から逆重畳波の算出を試みているが、理想的な結果が得られていない。この理由について、分析を実施しているところである。

参考文献

王欣, 正木和明, 入倉孝次郎: 常時微動を用いた被災建物の層間せん断波速度の測定, 日本地震工学会論文集, 13(2)特集号, 22-36, 2013.

王欣, 正木和明, 入倉孝次郎, 源栄正人, 久田嘉章: 常時微動の鉛直アレイ観測に基づく超高層ビルにおける 1 次元波動伝播解析および層間せん断波速度の抽出, 日本建築学会構造系論文集, 第 80 巻, 第 718 号, 1859-1868, 2015.

謝辞: 本研究は、2020 年度愛知工業大学総合技術研究所プロジェクト共同研究 A の助成により実施しました。ここに記して感謝申し上げます。

合成床板のコンクリートの充填、空隙および滞水検知装置に関する研究

[研究代表者] 瀬古繁喜 (工学部建築学科)

[共同研究者] 神頭峰磯 (日本車輛製造(株))

池永太一 (ソイルアンドロックエンジニアリング(株))

研究成果の概要

社会基盤の構築は国の財政支出の中で大きな割合を占め、信頼性の高い施工品質は維持管理費を抑制する上でも非常に重要である。本研究で主な対象とする合成床版構造は、高架や道路橋等を合理的に構築できることから、適用の割合が増加している。研究分担者は合成床版を製造・施工する企業であり、かねてからコンクリート打込み時に、鋼材が接合するような狭隙部でのコンクリート充填不良が発生する危険を認識してきた。これに対して、研究代表者がこれまで取り組んできた中性子線を利用した非破壊検査技術は独自性があり、コンクリート打込み中に鋼板の外側からコンクリートの空隙を検出できる装置を実現できる可能性がある。本研究では、放射線の中でも特に物質透過性に優れた中性子線に着目し、鋼材に覆われた複合構造の界面の空隙や滞水などの異常を非破壊で検出することを目指す。本研究では散乱型 RI 中性子線測定装置 (以下、測定装置) によって、鋼材とコンクリートとの界面に発生する空隙や滞水を検知する技術を確認するものである。今年度の研究では、従来からの実験で使用していた測定装置から、中性子線検出管を増設した測定装置に変更し、新たな測定装置における空隙検知の特性を把握することを目的とした。コンクリートに対して測定装置によって測定できる構造物の範囲を調べるために、被験体の幅と厚さを変化させる実験と、測定装置で測定できる空隙の大きさと装置の空隙に対する感度を確認するため、被験体間の距離を変化させた実験を行った。その結果、コンクリートに対する測定では幅 120mm 以上、厚さは 150mm 以内で測定可能な計数率比の変化が得られること、ポリプロピレン減速材の厚さ 5mm を境にして RI カウントの増加傾向が変わるため減速材の厚さを 10mm 程度以上にすると測定範囲の感度が向上すること、空隙の検知は 160mm までと考えられ空隙幅 160mm までは計数率比は距離の二乗で減衰することが分かった。

研究分野： 建築材料・施工

キーワード： 中性子線, ラジオアイソトープ, 非破壊, 空隙検知, 測定精度

1. 研究開始当初の背景

鋼道路橋で用いられる鋼コンクリート合成床版では、鋼とコンクリートを一体構造とすることにより、従来の RC 床版より高耐久な床版として、少数主桁橋で多く用いられている。しかし、鋼とコンクリートの複合構造では、鋼板に補剛のためのリブプレートや型钢などが取りつき、配筋を行うと狭隙な構造となり易く、コンクリート打込み時の充填不良などに配慮が必要である。また、共用を開始したのちにおいても、鋼とコンクリートの界面ではく離し、滞水を伴い床版コンクリートの耐久性を低下させる要因となる懸念がある。そのため、複合構造物の長期耐久性を性能通り発揮するには、適切な施工管理と維持管理が重要と

なる。しかし、鋼とコンクリートの複合構造の場合、コンクリートが鋼材で覆われ、コンクリート部分を含む界面の状態が不可視となるため、それらの管理が難しい。鋼材に覆われた複合構造の界面の空隙や滞水などの異常を検出することを目指して、衝撃弾性波法などを適用する検討も行われているが、実用には至っていない現状がある。

そこで、放射線の中でも特に物質透過性に優れた中性子線に着目し、鋼材に覆われた複合構造の界面の空隙や滞水などの異常を非破壊で検出することを目指す。本研究では散乱型 RI 中性子線測定装置 (以下、測定装置) によって、鋼材とコンクリートとの界面に発生する空隙や滞水を検知する技術を確認する。

2. 研究の目的

本研究では、散乱型 RI 中性子線測定装置を用いて鋼コンクリート合成床版のコンクリート施工時での充填不良等を鋼板を通して非破壊で検出する手法の確立と、共用開始後の経年劣化段階において鋼とコンクリートの界面での剥離や滞水を鋼板を通して非破壊で検出する手法の確立を目指す。検出対象の大きさの程度として 50mm×50mm 程度の大きさを目標としている。今年度の研究では、従来からの実験で使用していた測定装置から、中性子線検出管を増設した測定装置に変更し、新たな測定装置における空隙検知の特性を把握することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 測定装置の概要

測定装置の概要を図-1 に示す。測定装置の平面寸法は底板を幅 150mm×長さ 200mm とした。底板は、厚さ 2mm のステンレス製であり、減速材設置のために 2 重としている。底板上の中央に、直径 9mm×長さ 36mm の金属で密封された中性子線源をステンレス製の線源ホルダに入れて配置した。中性子線源は、カリホルニウム ^{252}Cf を用い、線源強度は 0.51~0.74MBq である。直径 25.4mm、長さ 157.4mm の ^3He 比例計数管を熱中性子の検出管として、線源の両側に 25mm の間隔で平行に配置した。なお、2 重底板により減速材が 15mm 程度まで設置できる。

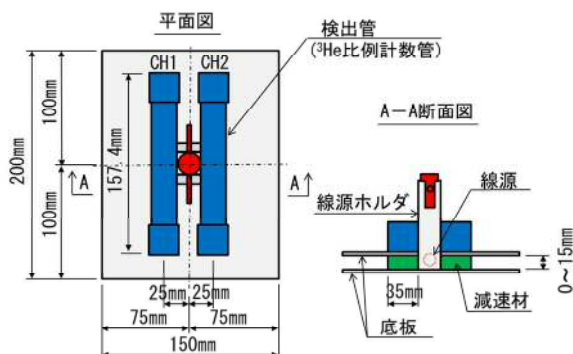


図-1 測定装置の概要

(2) 装置の測定範囲に関する実験

この実験では、図-2 に示すように、コンクリート被験体の長さを 400mm に固定して幅と厚さを変化させた。測定装置は、被験体の中心位置に設置して RI カウントを測定した。なお、この実験では、測定装置の検出管直下には、厚さを変えたポリプロピレン減速材を設置して測定した。

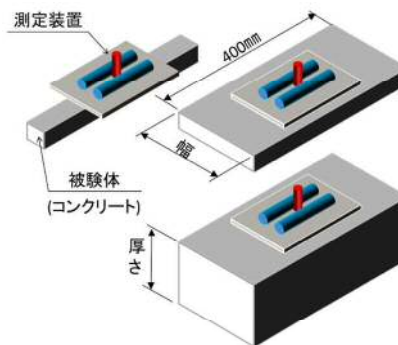


図-2 装置の測定範囲に関する実験のイメージ

(3) 測定する空隙の大きさに対する感度の実験

この実験では、図-3 に示すように、厚さ 8mm の鋼板の下に幅 200mm×長さ 400mm×厚さ 200mm のコンクリート被験体 2 個を平行に並べ、その間隔を変化させて測定した。測定装置は被験体間隔の中心位置に設置した。被験体間の距離は、二つの検出管の間隔が 50mm であることから、それより若干小さい 40mm から 10 倍の 400mm まで変化させた。また、この実験においても、検出管の直下に厚さを変化させた減速材を設置して測定を行った。

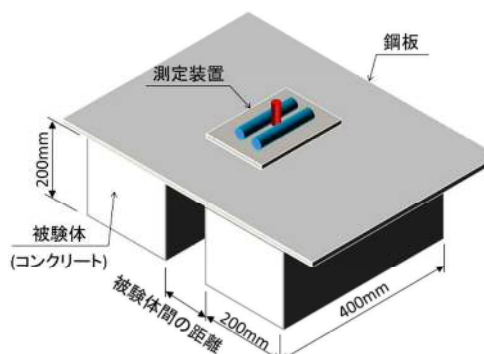


図-3 測定する空間の大きさの感度の実験のイメージ

4. 研究成果

本実験で測定した RI カウントは、中性子線源の半減期のため測定日が後になると線源強度が低下することにより減少する。また、使用する線源の強度が実験によって異なる場合も RI カウントが変わるため単純に比較することができない。そのため、実験結果の比較は、RI カウント（測定値）を線源の標準カウントに対する比、すなわち計数率比に換算して評価を行った。

(1) 装置の測定範囲に関する実験

測定装置に減速材を使用しない場合の測定結果を図-4 に示す。被験体の厚さが 20mm のとき、被験体の幅が 40mm と 400mm とでは計数率比の変化は少なかった。厚さが

200mm になると幅が 80mm, 120mm, 200mm, 400mm と増加するに連れて、計数率比は高くなる傾向であった。計数率比の増加の割合は幅 120mm を境に変化が大きくなっている。少なくとも幅 400mm までの範囲の被験体に対しては、測定装置の影響範囲内にあると言える。

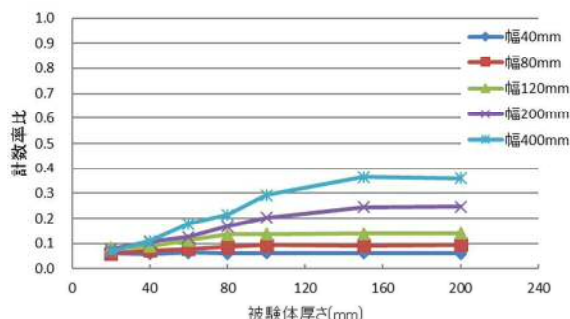


図-4 被験体の幅と厚さによる計数率比の変化

被験体の幅を 400mm として、減速材の厚さごとに被験体の厚さと計数率比の関係を図-5 のように整理した。被験体の厚さが 20mm から 80mm にかけて計数率比が比例的に増加するが、100mm を超えると減速材を厚くしても勾配が緩やかになり、減速材を使用しても被験体の厚さの大きい領域では、被験体厚さに対する計数率比の変化は変わらない結果となった。減速材の厚さが大きいほど計数率比が比例的に得やすくなるのではなく、被験体の厚さ方向に対して測定装置が得られる計数率比を効率よく向上する減速材の厚さが存在すると考えられる。

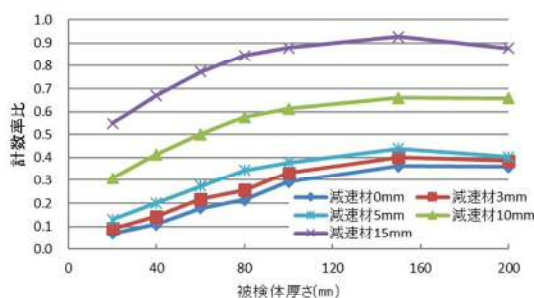


図-5 減速材厚さと計数率比の関係(被験体幅 400mm)

(2) 測定する空隙の大きさに対する感度の実験

測定装置の減速材の厚さが 0mm, 3mm, 5mm, 10mm および、15mm の場合における被験体間の距離と計数率比の関係を図-6 に示す。被検体間の距離と計数率比の関係は、被験体間の距離が 0mm で空間がない場合に計数率比が最も高く、被験体間の距離が大きくなると計数率比が低下する傾向となった。計数率比の低下の割合は、被験体間の距離が小さいときに大きく、被験体間の距離が 160mm 程度付近で変化して小さくなった。そのため、被験体間の距離

が計数率比の変化に及ぼす影響は、被験体間の距離が小さい範囲の方が高いと言える。

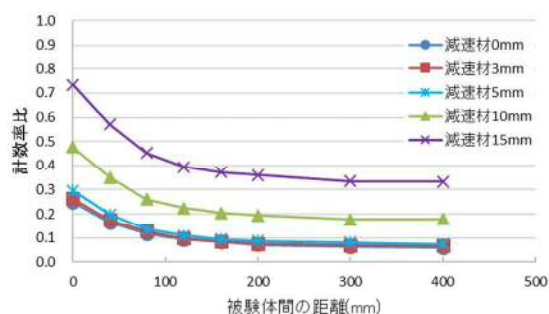


図-6 被験体間の距離と計数率比の関係

被検体間の距離が 160mm 以下の範囲において実験の結果を 10 万倍して 2 次式で近似した。速中性子の減衰効果が高い減速材厚さが 10mm と 15mm の場合を図-7 に近似曲線とともに示す。被験体間の距離が 160mm の範囲までは、計数率比と被験体間の距離の関係は 2 次式で近似でき、被験体間の距離と計数率比は高い相関性がある。

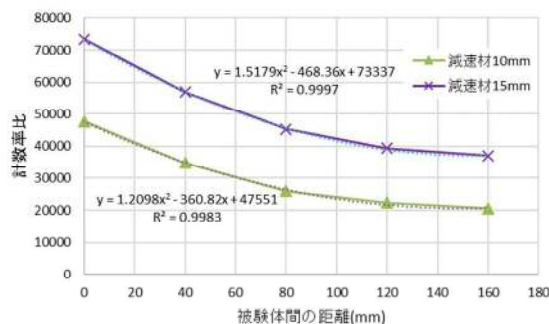


図-7 被験体間の距離と計数率比の関係の近似例

5. 本研究に関する発表

- (1) 頭峰磯, 瀬古繁喜, 池永太一, 山田和夫: 散乱型 RI 中性子線測定装置における減速材がコンクリートの RI カウントの増減に及ぼす影響の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No1, pp.1546-1551, 2020 年
- (2) 立山有佑, 瀬古繁喜, 神頭峰磯, 山田和夫, 池永太一: 散乱型 RI 測定装置の減速材が空洞の大きさに対する RI カウントに及ぼす影響 (その 1: 実験概要とポリプロピレン間の距離に対する RI カウントの変化), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp.323-324, 2020 年
- (3) 神頭峰磯, 池永太一, 立山有佑, 瀬古繁喜, 山田和夫: 散乱型 RI 測定装置の減速材が空洞の大きさに対する RI カウントに及ぼす影響 (その 2: コンクリートに対する RI カウントの変化), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp.325-326, 2020 年

コンクリート躯体の施工の信頼性向上技術の研究

[研究代表者] 瀬古繁喜 (工学部建築学科)

[共同研究者] 小島正朗 ((株)竹中工務店)

研究成果の概要

近年の土木工事や建築工事では CIM や BIM を活用した情報化施工の実施例が多く見られるようになってきている。筆者らは、建築でのコンクリート工事における情報化施工技術に関する研究開発を従前から行っており、「コンクリート打込み管理・打設計画支援システム」の開発において、コンクリート打込み状況を可視化し時間管理を可能とするプログラムを概ね完成させた。型枠中でのコンクリートの流動状態を三次元的にシミュレートできるプログラムを現場で試行し、出力結果が実際の工事の状況とある程度整合することを確認してきている。

本研究の最終的な目標は、コンクリートの打込み計画の立案をナビゲートするシステムの構築である。ここでは、実際の工事におけるコンクリートの打込み状況の管理を自動で行うプログラムに関する研究の成果を述べる。プログラムでは、コンクリートの流動状態を三次元的にシミュレートする部分を主体とし、工事の進行に合わせて自動的に実行できるよう、コンクリートの打込み位置認識、ポンプ車の打込み速度のモニタリングを統合する。実際の建築工事現場において BIM モデルを作製し、工事中のコンクリート打ち込み位置を準天頂衛星の高精度 GPS で逐次モニタリングし、ポンプ車の打込み速度をリアルタイムで取り込みながらプログラムを実行させる試行を行った。

その結果、コンクリートの流動状態を三次元的にシミュレートできるプログラムは、高精度 GPS による打込み位置データをリアルタイムで取り込むことができ、ポンプ車の打込み速度(コンクリート量)のデータと合体させて、型枠中でのコンクリートの流動状況を可視化できることが確認できた。また、建築工事現場での実際のコンクリートの打ち上がり状況とも概ね一致することも確認できた。現場試行で用いた GPS アンテナでは、部分的に測位誤差が大きい箇所があり、プログラムの実行精度はコンクリート打込み位置の精度に影響を受けることが明らかとなった。

研究分野：建築材料・施工

キーワード：コンクリート、打重ね時間、三次元モデル、吐出量、打込み位置、準天頂衛星

1. 研究開始当初の背景

建築の設計から施工段階において、部材を三次元でモデル化する BIM(Building Information Modeling)は鉄骨工事や配筋工事などで活用されている。しかし、設計案に沿った形に型枠を組立てることで自由な形状が得られるコンクリート工事では、型枠内をコンクリートが流動する特性を持っていること、また形状が不定形なため、BIM などのシステムの活用が難しい現状がある。現場監督は図面上で打込み順序や時間の計画を行っているが、計画どおりに打込まれないことがあり、その場で熟練技能者が打込み順序を決定していることも多い。その結果、JASS 5 で定められている打重ね時間を超過し、コールドジョイント等の不具

合が発生する問題が解決されない状況が続いている。また、コンクリート工事は労働集約型の作業であり、数値データとして表しにくいことから情報化や効率化が難しい事情がある。

2. 研究の目的

本研究の最終的な目標は、コンクリート工事の計画立案から実際の打込みを適切にナビゲートするシステムを構築することである。これまで研究を進めてきた施工管理システムでは、三次元の型枠モデルに 3~5cm 角のコンクリートブロックを流し込み、コンクリートの軟らかさや型枠の断面寸法などによって流動勾配を決定し、実際の流動状

態をシミュレートして三次元モデルとして可視化する。今年度は、実際の建築現場でシステムを実行させて準天頂衛星の高精度 GPS で測定した打込み位置データを昨年度までのシステムにリアルタイムで組み込み、ポンプ車の吐出量データ、打設プログラムとの連携を確認することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 準天頂衛星の測位システムとコンクリート打込み管理システムの連携

準天頂衛星システムとは、GPS 衛星から送られる信号を固定基地局を介して補正し、より良い精度の位置情報を安定して測定できるシステムである。受信システムを図 1 に示す。準天頂衛星システムから得た緯度・経度データはプログラム内で UTM 座標に変換する。



図 1 準天頂衛星の測位信号の受信システム

型枠内の流動状況をシミュレートして 3D 表示するには、コンクリートの打込み位置(ブロックの投入位置)と打込み量(ブロックの数量)の情報をシステムに取り込む必要がある。コンクリート打込み位置は準天頂衛星の測位情報を用いる。打込み量はポンプ車から得られる吐出量データを用いる。位置情報と打込み量を同時に取り込むことで、実際の打込みをリアルタイムに自動で三次元的に画面表示させる。コンクリート打込み管理システムの概要を図 2 に示す。

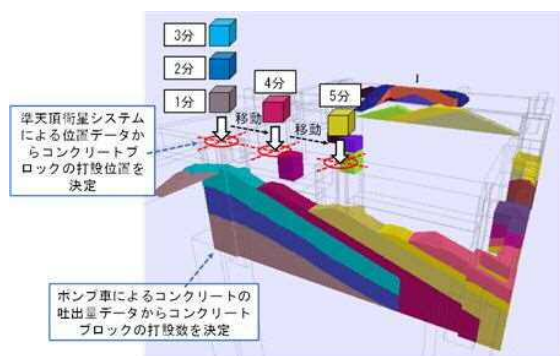


図 2 コンクリート打込み管理システムの概要

(2) 建築現場における試行

千葉県内の大学新実験棟工事のうち、1 階、2 階、3 階

でシステムの試行を行った。工事の開始とともにコンクリート打込み管理システムを実行させ、準天頂衛星の受信機から打込み位置を自動測定して取込み、ポンプ車の吐出量データと合わせてシステム全体の動作を確認した。今回は作業者に準天頂衛星の受信機を装着するために、図 3 のようにヘルメットに取り付ける治具を製作して対応した。



図 3 準天頂衛星受信機のヘルメットへの装着状況

4. 研究成果

準天頂衛星の測位システムの位置データとポンプ車の打込み量をリアルタイムで取り込んでコンクリート打込み管理システムを実行し、コンクリート工事の状況を三次元モデル上に表示させた結果を図 4 に示す。色が異なる層になっているのは、コンクリート打込み位置が移動して次のコンクリートが投入されたことを表している。図 4 より、準天頂測位システムが実際のコンクリート打込み位置に近いデータの場合には工事の状況とほぼ同じ結果が表示されることが確認できた。一方で、測定された打ち込み位置が実際と大きく異なる場合もみられ、この場合はコンクリート打込み管理システムでは実際と異なる結果となるため、打込み位置の測位精度の向上が今後の課題である。

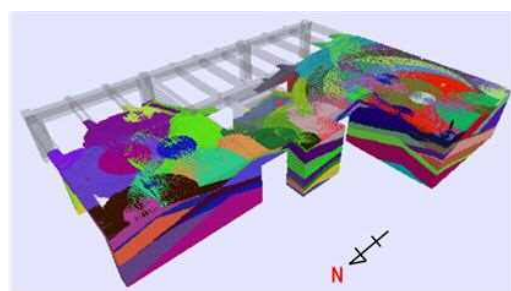


図 4 コンクリート打込み管理システムの結果の例

キノン系化合物と多孔質炭素との複合化と その電気化学キャパシタ特性評価

[研究代表者] 糸井弘行 (工学部応用化学科)

[共同研究者] 岡部明弘、寺尾郁珠 (川崎化成工業㈱)

研究成果の概要

近年、自動車分野のEVシフトや発電分野の自然エネルギー利用増大による蓄電デバイスの需要増加が見込まれている。そのような背景の中で、太陽電池、燃料電池などを高効率化し、二次電池と組み合わせたハイブリッド電源により電池寿命を延ばし、信頼性を高める蓄電デバイスとしてキャパシタが改めて注目されている。キャパシタは、優れた急速充放電特性をもち、長寿命である反面、二次電池と比較してエネルギー密度が低いという欠点がある。電極材料のエネルギー密度を向上させる方法として、酸化還元(レドックス)反応を利用した疑似容量を組み合わせた電気化学キャパシタの開発が進められている。本研究では、レドックス能を有するキノン化合物と多孔質炭素材料との複合化により、優れた急速充放電特性を維持しつつ、エネルギー密度を向上させる電気化学キャパシタ電極の開発及び高性能化を目指した。

マイクロ孔のみ及びメソ孔を有する多孔質炭素と、キノン系材料とを複合化する重量比を検討し、電気化学キャパシタ特性評価を行った結果、多孔質炭素の物性によって最適な重量比が異なることがわかった。また、複合方法あるいは複合比を調整することで高容量あるいは高速充放電特性に優れた電極材料を作り分けできる目途が立った。

他方、ゼオライト鑄型炭素など多くのエッジ面が存在する多孔質炭素は、末端C-H結合が電気化学的に酸化され易いことが知られているが、特定のキノン系材料を複合化した試料について電気化学測定を行った結果、耐酸化特性を示すことを確認した。

研究分野: エネルギー貯蔵・変換材料、キャパシタ

キーワード: キノン系化合物、多孔質炭素、複合化、キャパシタ、エネルギー密度、急速充放電特性、耐酸化特性

1. 研究開始当初の背景

近年、自動車分野のEVシフトや発電分野の自然エネルギー利用増大による蓄電デバイスの需要増加が見込まれている。そのような背景の中で、太陽電池、燃料電池などを高効率化し、二次電池と組み合わせたハイブリッド電源により電池寿命を延ばし、信頼性を高める蓄電デバイスとしてキャパシタが改めて注目されている。キャパシタは、優れた急速充放電特性、長寿命である反面、二次電池と比較してエネルギー密度が低いという欠点がある。電極材料のエネルギー密度を向上させる方法として、酸化還元(レドックス)反応を利用した疑似容量を組み合わせた電気化学キャパシタの開発が進められている。レドックス反応は導電性高分子や金属酸化物、さらに一部の有機化合物の電

子の授受を伴う化学反応を利用したものであり、これらのレドックス化合物の高いエネルギー密度が電気化学キャパシタの高エネルギー密度化に大きく貢献する。しかし多くのレドックス化合物は導電性に乏しく、急速充放電特性を得るために電子の授受を伴うレドックス反応を速やかに行わせるための実用的な複合化手法が求められる。

2. 研究の目的

我々のグループでは、キノン化合物と活性炭をはじめとする多孔質炭素材料を簡便な手法で複合化することで、電気化学キャパシタ電極として優れた充放電特性が得られることを報告しており、キノン化合物と多孔質炭素との精密な複合化手法とその構造評価、電気化学特性評価手法に

関する技術を備えている。一方、川崎化成工業はレドックス能を有するキノン化合物を工業的に生産しており、キノン化合物と炭素材料を複合化した高性能な電気化学キャパシタ電極の工業的な生産を検討している。したがって当研究室の複合化手法と構造解析・電気化学測定手法を利用することで、キノン化合物と多孔質炭素とが複合化された高性能な電気化学キャパシタ電極材料の工業的な生産が見込める。本共同研究が成功することで、これまでに学術領域に止まっていたキノン系材料を利用した高性能な電気化学キャパシタ電極の社会的普及により、産業界への大いなる貢献が期待できる。

3. 研究の方法

(1) 電気化学キャパシタ電極の最適化

ミクロ孔のみ及びメソ孔を有する多孔質炭素と、川崎化成工業で生産しているキノン系材料とを複合化する重量比を検討し、電気化学キャパシタ特性評価を行った。

(2) キノン系材料による多孔質炭素の耐酸化性検討

ゼオライト鋳型炭素など多くのエッジ面が存在する多孔質炭素は、末端 C-H 結合が電気化学的に酸化され易いことが知られている。キノン系材料によって酸化を抑制できる可能性があるため、キノン系材料を複合化した多孔質炭素の耐酸化性能について評価を行った。

4. 研究成果

(1) 電気化学キャパシタ電極の最適化

キノン系材料と多孔質炭素の重量比を検討した結果、多孔質炭素の物性によって最適な重量比が異なることがわかった。また、複合方法あるいは複合比を調整することで高容量あるいは高速充放電特性に優れた電極材料を作り分けできる目途が立った。

(2) キノン系材料による多孔質炭素の耐酸化性検討

特定のキノン系材料を複合化した試料について電気化学測定を行った結果、耐酸化特性を示すことを確認した。

5. 本研究に関する発表

【投稿】

(1) Hiroyuki Itoi, Shunsuke Kotani, Yuichiro Tanabe, Yuto Kasai, Ryutaro Suzuki, Masahiro Miyaji, Hiroyuki Iwata, and Yoshimi Ohzawa, "Study of the Mesopore Size Effect on the

Electrochemical Capacitor Behaviors of Mesoporous Carbon/Quinone derivative hybrids", *Electrochimica Acta*, 2020, 362, 137119.

【口頭発表】

(1) 松浦 未来、田辺 湧一朗、笠井 湧斗、糸井 弘行、大澤 善美、“活性炭に複合させたキノン誘導体の分子構造が及ぼす水系電気化学キャパシタ特性への影響の考察”、第 47 回炭素材料学会年会、オンライン開催、2020 年 12 月 11 日。

(2) 田辺 湧一朗、小谷 駿輔、糸井 弘行、大澤 善美、“多孔質炭素のメソ孔に内包されたキノン誘導体の酸化還元反応特性の評価と電気化学キャパシタ電極への応用研究”、第 47 回炭素材料学会年会、オンライン開催、2020 年 12 月 12 日。

金属ナノ粒子と担体のナノレベルでの複合化により発現する物性の評価と TEM 観察による構造評価

[研究代表者] 糸井弘行 (工学部応用化学科)

[共同研究者] 紅谷篤史、東 相吾 (豊田中央研究所)

研究成果の概要

本研究では、活性炭細孔内部に酸化還元反応特性を有する酸化ルテニウム (RuO_2) を複合化し、電気エネルギー貯蔵デバイスである電気化学キャパシタ向けの電極としての充放電特性を評価した。この手法では、はじめに活性炭に気相中で有機ルテニウム錯体を吸着させ、続いて錯体が分解する温度で熱処理することで、活性炭細孔内部にルテニウムナノ粒子を高分散させる。さらにこの試料から電極を作製して電解液中で電圧を印加することで、活性炭細孔内部で酸化ルテニウムナノ粒子に変換することができる。酸化ルテニウムは水系電解液中で可逆的な酸化還元反応を行い、その反応には電解液中のカウンターイオンが関与すると同時に導電性の高い炭素表面との間の電荷移動を伴う。したがって過剰量の酸化ルテニウムは、細孔内部のイオンの拡散抵抗を増大させるために急速充放電特性が得られなくなるが、酸化ルテニウムの導入量が少ないとエネルギー密度の増加量が小さくなる。そこでマイクロ孔と呼ばれる 2 nm 以下の細孔のみを有する活性炭と、マイクロ孔に加えて 4 nm までの細孔を有する活性炭の 2 つを用いることで、酸化ルテニウムナノ粒子の増加に伴う充放電特性を調べた。その結果、酸化ルテニウムが活性炭の細孔内部に複合化されるために活性炭粒子の体積膨張が起こらないため、電極体積あたりの容量は酸化ルテニウムの量に伴って増加することが分かった。マイクロ孔のみを有する活性炭の場合、急速充放電領域ではイオンの拡散抵抗が増大するために容量維持率の低下を招く結果が得られた。 4 nm までの細孔を有する活性炭では、 2 nm までの細孔を有する活性炭と同量の酸化ルテニウムを複合化しても、急速充放電特性を維持した電極体積あたりの高容量化が可能であった。これは、メソ孔が活性炭細孔内部のカウンターイオンの拡散抵抗を低減したからである。本研究から、酸化ルテニウムナノ粒子と活性炭のナノレベルの複合化により、優れた電気化学キャパシタ特性を得られることが分かった。

研究分野：触媒、エネルギー貯蔵・変換材料、キャパシタ、水素貯蔵

キーワード：金属ナノ粒子、触媒、透過電子顕微鏡、X 線吸収スペクトル測定

1. 研究開始当初の背景

金属ナノ粒子は、バルクの金属とは大きく異なる特性を示すことが古くから知られている。例えば金属ナノ粒子を用いた触媒反応では、金属ナノ粒子の粒径を小さくするほど触媒活性と反応選択性が大幅に増大することが多数報告されている。金属ナノ粒子のみならず有機化合物や導電性高分子においても、バルクの状態からナノレベルに微細化することで、バルクの性能と大きく異なる物性が得られることを我々も多数見出している。しかしナノレベルの微細化は表面エネルギーの増加とそれに伴う不安定化を伴うため、凝集やシンタリングが起こりやすく性能の低下を

招きやすい。そこで必要とされる手法が、異なる材料とのハイブリッド化であり、ナノレベルに微細化された金属やその他の化合物をいかに安定に基板に担持するかが材料の性能を大きく左右する。ハイブリッド化において基板の物性や構造も極めて重要であり、燃料電池触媒をはじめとする電極触媒向けの基板には導電性が不可欠であり、触媒反応向けの基板にはその反応に耐えうる化学的安定性と耐熱性が求められる。

一方で我々は、ナノレベルに微細化した物質を安定に保持する手法として、活性炭をはじめとする多孔質の炭素材料を用いたハイブリッド化をこれまでに多数報告してき

た。多孔質炭素の 1 グラムあたりの表面積は最大で 4000 m²/g に達し、活性炭でも 1 グラムあたりの表面積が 3000 m²/g 程度のものが市販されている。したがって複合化された化合物を導電性の高い炭素表面と高表面積で接触することができれば、接触界面における急速な電荷移動が可能になる。その結果、急速充放電が可能な電気化学キャパシタの電極材料として用いることができる。

2. 研究の目的

本研究では、酸化還元反応特性を有する酸化ルテニウムナノ粒子を活性炭の細孔内部に複合化し、体積あたりの高容量化と急速充放電特性を両立した電気化学キャパシタ電極の開発を検討した。酸化ルテニウムは単位重量あたりのエネルギー密度が高いため、電極材料としての利用が以前から期待されている。しかし酸化ルテニウムは急速充放電特性が得られにくいことから、実用的な応用には至っていないのが現状である。そこで我々の複合化手法によるナノレベルの複合化によって、急速充放電特性を維持した電気化学キャパシタの高容量化を検討した。

3. 研究の方法

活性炭は KOH 賦活炭を使用し、2 nm までの細孔を有する mAC と、4 nm までの細孔を有する mmAC の 2 種類を使用した。ルテニウム前駆体には、ルテニウム(III)アセチルアセトナート (Ru(acac)₃) を用いた。はじめに活性炭と錯体を混合して 200 °C で 24 h 加熱することで、活性炭への錯体の吸着を行った。このとき、mAC と Ru の重量比が 4:1、mmAC と Ru の重量比は 4:1 と 7:3 になるようにそれぞれ調整した。続いて 400 °C で 3 h の熱処理を行い、活性炭細孔内部に Ru ナノ粒子を担持させた。得られた試料に導電材とバインダーであるカーボンブラックと PTFE をそれぞれ混合して電極を作製し、1 M 硫酸水溶液と銀/塩化銀電極、活性炭から作製した対極を用いて 3 極式セルを作製した。ルテニウムナノ粒子の酸化は、0.8 V (vs. Ag/AgCl) で 2 h 保持して行った。

4. 研究成果

図 1 に、mmAC と Ru を 4:1 と 7:3 で複合化した後に電気化学的に酸化した試料 (mmAC/RuO₂ (4:1)、mmAC/RuO₂ (7:3)) の TEM 写真を示す。ルテニウムの担持量が多い試

料は粒子数が多いものの、いずれの試料も 2 nm 程度のナノ粒子が確認された。酸化前の試料と比較すると、粒径や粒子の形状はほとんど変化せず、さらに mAC から作製した試料 (mAC/RuO₂ (4:1)) も同程度の粒子サイズであった。表 1 に、定電流充放電測定から得られた各試料の 0.2 A/g と 10 A/g における体積あたりの容量と、0.2 A/g の容量に対する 10 A/g の容量維持率を示す。細孔径の小さい活性炭を用いる場合、低電流密度領域では体積あたりの容量は増加するが、容量維持率の低下を招いた。この理由は、2 nm 以下の細孔では、急速充放電領域では酸化ルテニウムの酸化還元反応に必要なカウンターイオンの拡散が困難になるためであると考えられる。より大きな細孔を有する活性炭を用いた場合、0.2 A/g では体積あたりの容量がルテニウムの担持量に伴って増加することが分かる。酸化ルテニウムの担持量が低い試料では、多少の容量維持率の低下を伴うものの、10 A/g でも体積あたりの容量は用いた活性炭よりも高い値を示した。酸化ルテニウムの担持量を増加させた試料では、細孔内部の酸化ルテニウムナノ粒子の増大に伴うイオンの拡散抵抗の増大によって容量維持率が低下した。以上の結果から、活性炭の細孔径と酸化ルテニウムの担持量を制御することで、急速充放電特性を維持した体積あたりの高容量化が可能であることが分かった。

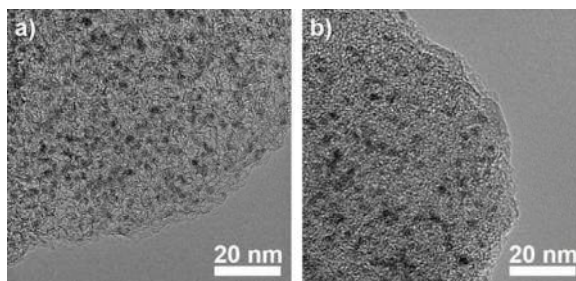


図 1 mmAC/RuO₂ (4:1) (a) と mmAC/RuO₂ (7:3) (b) の TEM 写真

表 1 体積あたりの容量 (C_v) と容量維持率

試料	C _v (F/cm ³)		容量維持率
	0.2 A/g	10 A/g	%
mAC	111.6	40.9	37
mAC/RuO ₂ (4:1)	166.1	14.0	8
mmAC	94.6	54.5	58
mmAC/RuO ₂ (4:1)	129.1	63.2	49
mmAC/RuO ₂ (7:3)	160.4	43.2	27

5. 本研究に関する発表

H. Itoi, H. Iwata, Y. Ohzawa, A. Beniya, S. Higashi, et al., *Solid State Sciences* 111 (2021) 106472.