

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 12 月 3 日（金曜日）13 : 00～15 : 35

## 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

## 燃料多様化に対応した燃焼解析

[研究代表者] 西島義明（工学部機械学科）

[共同研究者] ㈱豊田自動織機

《掲載不可》

# 噴霧燃焼解析によるエンジンの熱効率改善

[研究代表者] 西島義明 (工学部機械学科)

[共同研究者] ㈱デンソー

《掲載不可》

# 深紫外光を用いたウイルス対策機器の研究・開発

[研究代表者] 古橋秀夫 (工学部電気学科)  
[共同研究者] 山口雅樹 (ステリエルエヤーージャパン(株))  
友松義博 (株AIKI リオテック)  
池戸孝治 (池戸製作所)

## 研究成果の概要

COVID-19 対策機器として、紫外光 (UVC) を用いたウイルス対策機器を各種開発した。1. 人検知機能を持つウイルス不活性化 UVC 紫外照射器の開発。UVC 光はウイルスを不活性化させる効果を持つが、人に有害である。そのため、人がいないときだけ机の上やドアノブなどに UVC 光を照射する各種機器を開発した。2. UVC ウィルス不活性化機能を持つ自律移動型空気清浄ロボット「AIT ステリロボット」を開発した。人の居る空間でも使用ができる。LiDAR を使用し、SLAM 技術で自己位置推定、人をよけながら動き回り、空間を効率的に洗浄する。またデプスカメラにより人の居る場所を見つけ、3 密状態の場所を検知。近くに寄って人の居る場所を効率的に洗浄することにより、飛沫やエアロゾル感染を防ぐ。ネプライザーにより疑似的に飛沫・エアロゾルを発生させ、パーティクルカウンターにより粒子を測定することにより、人の近くで清浄することが飛沫やエアロゾルの無害化に非常に効果的であることを証明した。3. UVC ウィルス不活性化機能を持つ空気清浄機内蔵型自律移動型配膳ロボット「AIT サーヴロボット」を開発した。自律移動で食事をお客に届けることができ、人の接触を最小限に抑えることができる。配膳後は自動的に戻ってくる。これら機器は、愛知県のロボット実証実験事業「あいちロボットショーケース」で地下街での実証実験を行った他、「第 1 回感染症対策総合展」や「第 3 回感染症対策総合展」において、模擬的に作られたオフィスや飲食店内で動作させる実証実験を行い、安全性、機能性ともに有効であることが実証された。また、テレビ朝日「報道ステーション」等でも取り上げられた。

## 研究分野：制御工学、光工学

キーワード：ウイルス、COVID-19、不活性化、深紫外線、ロボット、自己位置推定、AI、人検知

### 1. 研究開始当初の背景

コロナ禍において経済活動の再開が急務と成り、世の中は COVID-19 などウイルスとの共存社会へと移行している。そんな中ウイルス対策が重要と成っており、マスク着用、消毒液の使用等、対策が進んでいる。その対策の一つとして最近深紫外光 (UVC) による清浄・消毒が注目されている。本論文では、我々が開発した UVC ウィルス対策機器の 1 つである「自律移動型空気清浄ロボット AIT ステリロボット」について述べる。

紫外線による洗浄・消毒という考えは古くからあり、病院を中心に使われてきた。そのような中、近年の COVID-19 の拡大により、商業施設などにおいて使えるよ

うな紫外線を照射するロボットの開発が進んでいる。深紫外光は人体に有害なため、人が遠隔操作したり、人の居ない状態で自律移動ロボットがあらかじめ決められたルートを洗浄するタイプが市販されるようになった。

### 2. 研究の目的

現在の UVC 清浄ロボットには、以下のような問題点がある。

- ・直接照射で人体に有害なため、人の居ないところでしか使えない
- ・距離が離れると、その効果が急速に落ちる
- ・物の劣化、退色が起こる

- ・あらかじめ決められたルートのみしか動かない。
- ・大型である

特に COVID-19 においては、その最大の感染経路は飛沫・エアロゾル感染だと考えられている。そのため、感染防止対策として 3 密の回避が叫ばれている。しかしながら、3 密を完全に無くすことは困難であり、そのような状況下での感染防止のためには、人が会話などを行っているその時にウィルスの無害化を行うことが必要で、施設の営業が終わって人がいなくなった状態での清浄は意味がない。

また、一般的な据え置き型の空気清浄機は数時間かけて部屋の中全体の空気を綺麗にする。しかしながら、そのような空気の清浄においては、部屋の中に一定量の粒子が存在し、それらがあまり時間と共に増えることがないような状況での使用が想定されており、離れた場所に置かれていても時間をかけて空気が洗浄されれば良いという考え方がされている。しかしながらウィルス対策においては、ウィルスは人から絶えず放出されるため、離れた場所の空気清浄機では人の居る場所の空気を効果的に綺麗することはできない。また、一般的なフィルター式の空気清浄機は捕獲されたウィルスは不活性化されるわけではなく、フィルターに付着したままとなる。特に、エアロゾルをフィルタリングするためには HEPA フィルターなどの目の細かいフィルターを使用する必要があり、頻繁な取り換えが必要となる。

この研究では、上記の問題点を解決する。

### 3. 研究の方法

COVID-19 を不活性化できる UVC 空気清浄機“UV エアステライザー” (STERIL-AIRE 社) を差動 2 輪台車の上に設置した。

UV エアステライザーは、装置の内部に空気を取り込み、強力な紫外線(UVC)253.7nm により、微生物の DNA を破壊し、増殖を不可能 (不活化) にする。ホワイトハウス・ペンタゴン・軍事施設におけるウィルステロ対策用として使用されている高出力 UVC 殺菌ランプをボックス内に設置し、人がいる場所でも安全に使用することができる。米国ボストン大学の研究によれば、COVID-19 は  $5\text{mJ}/\text{cm}^2$  の照度を持つ 253.7nm の光を照射した場合、約 6 秒で 99% 以上が不活性化される。このデータを基に本装置の照度、風速、形状から不活性化の効果を見積もると、1 回の通過で 93% 以上が不活性化されるという結果が得られた。風速は  $1.5\text{m}^3/\text{min}$  であり、人の近くの数 m 四方空間は数分ではほぼ無害化される。一般財団法人 北里環境科学センターによる実験により、一般的なウィルス (大腸菌ファージ) に対して  $25\text{m}^3$  の部屋で本装置を据え置きで 2 時間動作させた場合、99.48% 以上の不活性化が報告されており、一般社団法人防災安全協会によってもそのウィルスの死滅効果が認定されている。

本装置は高さ 120cm、横幅 40cm、奥行き 40cm でその場回転でき、車輪間距離 34cm、車輪直径 10cm である。本装置は 3 つのコンピュータで構成され、IMU、オドメー

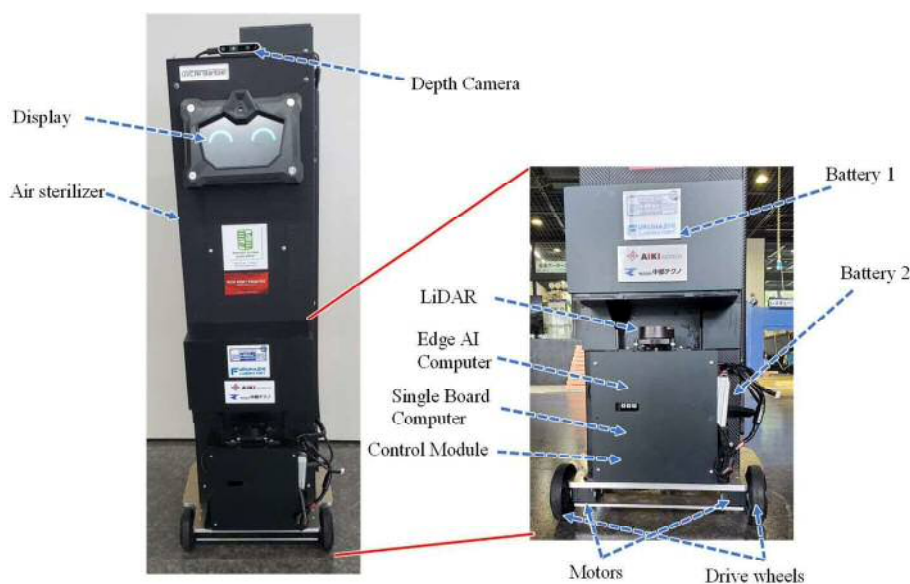


図 1 UVC 空気清浄機能を持つ自律移動ロボット AIT ステリボットの構造



ター、LiDAR、深度センサーを持つ。ロボット開発プラットフォーム ROS により開発を行った。LiDAR とオドメーターを用いた SLAM により自己位置推定、軌道計算を行うとともに、LiDAR と深度センサーにより障害物回避を行う。また、深度センサーのカメラと深度データより AI により人検知を行う。

本装置は、以下の動作モードを持つ。

1. 地図データにより、あらかじめ決められたルートでの清浄
2. 人を探し出し、その方向への移動
3. 360度その場回転し、360度のカメラ画像・深度画像から人口密度の高いエリアを特定し移動

ネブライザーにより疑似的に飛沫・エアロゾルを発生させ、パーティクルカウンターにより  $0.3\mu\text{m}$  までの粒子を測定することにより、人の近くで清浄することが飛沫やエアロゾルの無害化に非常に効果的であることを証明した。

#### 4. 研究成果

愛知県のロボット実証実験事業「あいちロボットショーケース」で地下街での実証実験を行った他、「第1回感染症対策総合展」や「第3回感染症対策総合展」において、模擬的に作られたオフィスや飲食店内で動作させる実証実験を行い、安全性、機能性ともに有効であることが実証された。

AIT ステリロボット



図2 地下街での実証実験

大名古屋ビルヂング

(あいちロボットショーケース)

#### 5. 本研究に関する発表

- (1) 古橋秀夫他、“空気清浄機能搭載自律移動ロボット”、ロボカップアジアパシフィック、Aichi Sky Expo、2021年11月25日～11月29日。
- (2) 古橋秀夫他、“空気清浄機能を持つ自律移動型配膳ロボット AIT サーヴロボット -模擬店舗での実証実験-”、第3回感染症対策総合展、ポートメッセ名古屋、2021年6月17日～6月19日。
- (3) 古橋秀夫他、“自律移動型空気清浄ロボット AIT ステリロボット -模擬店舗での実証実験-”、第3回感染症対策総合展、ポートメッセ名古屋、2021年6月17日～6月19日。
- (4) 古橋秀夫他、“自律移動型空気清浄ロボット AIT ステリロボットの開発”、瀬戸蔵ロボット博2021、瀬戸蔵、2021年3月24日～3月28日。
- (5) 古橋秀夫他“自律移動型空気清浄ロボット”、中京テレビ「キャッチ」、2021年2月5日。
- (6) 古橋秀夫他、“自律移動型空気清浄ロボット AIT ステリロボット -地下街での実証実験-”、あいちロボットショーケース、大名古屋ビルヂング、2021年1月18日～1月24日。
- (7) 古橋秀夫他、“自律移動型空気清浄ロボット -感染症対策総合展-”、テレビ朝日「報道ステーション」、2020年9月9日。
- (8) 古橋秀夫他、“自律移動型空気清浄ロボット -感染症対策総合展-”、中京テレビ「キャッチ」、2020年9月9日。
- (9) 古橋秀夫他、“自律移動型空気清浄ロボット AIT ステリロボット -模擬オフィスでの実証実験-”、第1回感染症対策総合展、ポートメッセ名古屋、2020年9月9日～9月11日。
- (10) 古橋秀夫他、“空気清浄ロボット”、中日新聞、2020年8月10日。
- (11) 古橋秀夫他、“自律移動型空気清浄ロボット AIT ステリロボット -ワークショップでの実証実験-”、瀬戸蔵ロボットアカデミー「夏休みロボットワークショップ」、瀬戸蔵、2020年8月8日～8月10日。
- (12) 古橋秀夫他、“感染症対策 -産官学が力-”、中日新聞、2020年7月8日。

他

# 自動車消費者潜在ニーズの調査および解析

[研究代表者] 福澤和久 (経営学部経営学科)

[共同研究者] 池山智也 (株矢野経済研究所)

## 研究成果の概要

2020年度は(1)「消費者に対する自動運転市場ニーズ調査」、(2)「国内自動車メーカー、Tier1メーカー、車載向け半導体・電子デバイスメーカーの担当者に対するアフターコロナにおける自動車産業に関する意識調査」を実施した。

(1)「消費者に対する自動運転市場ニーズ調査」では、まず自動車の主要市場である日本、アメリカ、ドイツの分析を行った。その結果、アメリカの消費者が最も自動運転の導入に対して積極的で、次にドイツ、そして日本は最も自動運転の導入に対して消極的であるということが明らかとなった。次に自動車の世界最大市場である中国市場の分析を行った。中国市場においてはこちらも5大主要市場である北京、上海、広東省、江蘇省、浙江省の5都市を対象とした。その結果、5都市における自動運転ニーズに関する大きな差を確認することができなかった。少なくとも大都市においては同様の運転環境や自動運転のニーズがあるのではないかと考察している。

(2)「国内自動車メーカー、Tier1メーカー、車載向け半導体・電子デバイスメーカーの担当者に対するアフターコロナにおける自動車産業に関する意識調査」では、新型コロナウイルスによって自動車産業においてはどのような産業構造の変化が起こるのかを明らかにするため、自動車業界のプロフェッショナルらに対してアフターコロナの自動車産業についてのWebアンケート調査を実施した。その結果、2021年の自動車セグメント別新車販売台数予想では軽自動車、小型車、大型車(高級車を含む)が増加するという回答が多かった。アフターコロナにおいては貧困層と富裕層の2極化が起こり得ることを示唆する結果が見られた。

## 研究分野：自動運転市場

キーワード：自動運転,CASE,モビリティ,市場予測

### 1. 研究開始当初の背景

Connected (コネクティッド), Autonomous/Automated (自動化), Shared (シェアリング), Electric (電動化), いわゆる CASE は今後、自動車(モビリティ)産業に変革をもたらす。それは、従来の自動車を売って利益をあげるビジネスモデルから、モビリティに関わる全てのサービスを提供するというビジネスモデルへの転換であり、我が国での主要産業である自動車産業では、生き残りのために早急な変化が必要である。

しかしながら CASE を見据えた消費者ニーズの発掘は、現在ほとんどされておらず、具体的にどのようなニーズが有るのかは未だ解明されていない。CASE時代に

における消費者ニーズおよびは今後、大手自動車メーカーやメガサプライヤーにとって、カーデバイス開発やサービス開発の重要な情報である。

### 2. 研究の目的

共同研究先である株式会社 矢野経済研究所 モビリティ産業ユニット テクノロジーグループが中期計画として掲げる成長戦略(共同研究者である池山智也氏が起案者)における3つの具体的な施策を起案している。

- (1) CASE を軸とした最新テクノロジーの情報収集と分析
- (2) 顧客が事業計画で活用できる制度の高い市場予測

データの提供

(3) モビリティ業界を超えたネットワークと次世代ビジネスの創出

本研究プロジェクトの目的は、これらに関わる、高度な統計分析を用いた消費者ニーズの発掘および新たなサービスの開発を行うことである。

### 3. 研究の方法

2020 年度（62 期）は (1)「消費者に対する自動運転市場ニーズ調査」、(2)「国内自動車メーカー、Tier1 メーカー、車載向け半導体・電子デバイスメーカーの担当者に対するアフターコロナにおける自動車産業に関する意識調査」実施した。

(1) 消費者に対する自動運転市場ニーズ調査

「消費者に対する自動運転市場ニーズ調査」では第一に自動車の主要市場である日本、アメリカ、ドイツの分析を行う。調査データは既に実施されたものであり、矢野経済研究所から提供を受ける。サンプルサイズは 2000 である。

第二に自動車の世界最大市場である中国市場の分析を行う。調査データは既に実施されたものであり、矢野経済研究所から提供を受ける。サンプルサイズは 2500 である。

何れの分析もクロス集計およびコレスポンデンス分析を用いて、地域間における自動運転に対するニーズの違いを明らかにする。

(2) 国内自動車メーカー、Tier1 メーカー、車載向け半導体・電子デバイスメーカーの担当者に対するアフターコロナにおける自動車産業に関する意識調査

「国内自動車メーカー、Tier1 メーカー、車載向け半導体・電子デバイスメーカーの担当者に対するアフターコロナにおける自動車産業に関する意識調査」では、アンケート設計を研究代表者である福澤および研究分担者である池山が共同で行う。アンケート実施および費用は矢野経済研究所が負担する。

### 4. 研究成果

(1)「消費者に対する自動運転市場ニーズ調査」では、まず自動車の主要市場である日本、アメリカ、ドイツの分析を行った。その結果、アメリカの消費者が最も自動

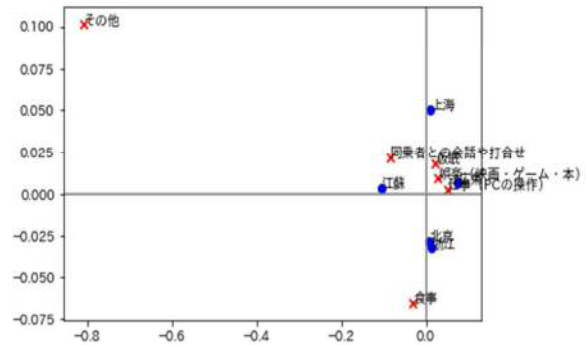


図1 自動運転中にやりたいこと

運転の導入に対して積極的で、次にドイツ、そして日本は最も自動運転の導入に対して消極的であるということが明らかとなった。次に自動車の世界最大市場である中国市場の分析を行った。中国市場においてはこちらも 5 大主要市場である北京、上海、広東省、江蘇省、浙江省の 5 都市を対象とした。その結果、5 都市における自動運転ニーズに関する大きな差を確認することができなかった。少なくとも大都市においては同様の運転環境や自動運転のニーズがあるのではないかと考察している。

(2)「国内自動車メーカー、Tier1 メーカー、車載向け半導体・電子デバイスメーカーの担当者に対するアフターコロナにおける自動車産業に関する意識調査」では、新型コロナウイルスによって自動車産業においてはどのような産業構造の変化が起こるのかを明らかにするため、自動車業界のプロフェッショナルらに対してアフターコロナの自動車産業についての Web アンケート調査を実施した。その結果、2021 年の自動車セグメント別新車販売台数予想では軽自動車、小型車、大型車（高級車を含む）が増加するという回答が多かった。アフターコロナにおいては少なくとも自動車購買行動について、貧困層と富裕層の 2 極化が起こり得ることを示唆する結果であると考察した。

### 5. 本研究に関する発表

- (1) 株式会社矢野経済研究所，“アフターコロナの自動車産業についてのアンケート調査と市場展望”，2020 年 10 月 30 日
- (2) 福澤和久，池山智也，“中国の主要 5 地域における自動運転に対する意識の比較”，日本経営システム学会 第 66 回全国大会，2020 年 5 月 23 日

# 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

[研究代表者] 内藤克浩 (情報科学部情報科学科)  
[共同研究者] Ultimatrust(株)

《掲載不可》

# 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

[研究代表者] 内藤克浩 (情報科学部情報科学科)  
[共同研究者] ㈱モビリン

《掲載不可》

# セキュリティ通信プロトコルを使用する Edgecross システムの研究

[研究代表者] 内藤克浩 (情報科学部情報科学科)

[共同研究者] 三菱電機(株)

《掲載不可》

# 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

[研究代表者] 梶 克彦 (情報科学部情報科学科)  
[共同研究者] 筒井和彦 (三菱電機(株)名古屋製作所)  
濱口 学 (三菱電機(株)名古屋製作所)  
佐野修也 (三菱電機(株)名古屋製作所)  
内藤克浩 (情報科学部情報科学科)  
中條直也 (情報科学部情報科学科)

## 研究成果の概要

FA 機器の予知保全では、状態をセンサで計測し、過去のデータと比較することで将来起こる故障の時期を予測する。この故障予測に基づいて計画的に保全を行うことで、予防保全で生まれる余計な保全コストを削減できると言われている。FA 機器は一般的に信頼性が高く故障に強い。実際の環境では、故障データの蓄積が少なく教師データを使った機械学習手法を適用することが難しい。そのため本研究では教師データを必要としない手法として主成分分析を利用する。本研究では、典型的な FA 機器の構造として、2 個のサーボモータを使用したパラレルリンク機構の装置を対象とする。パラレルリンク機構ではリンク間が物理的に接続されているため、一方のリンクに生じた異変が他方のリンクに影響をおよぼすといった相互作用が起こると考えられる。このような相互作用の考慮によって、故障予測に必要なセンシングデータ数を削減できると期待する。故障予測実験では、装置上にある 1 箇所の関節に段階的に負荷をかけて、擬似的に関節の動作不良という故障を発生させる。サーボモータからはトルク、回転速度、角位置、それぞれの指令値とフィードバック値間誤差の 6 次元データを分析した。故障を擬似的に発生させた場合、故障関節に近い側のサーボモータから得られる値だけでなく、故障関節から遠い側のサーボモータから得られる値からも、負荷の大きさが増すにつれて値の変化がみられ、相互作用が確認された。得られた値に対して主成分分析を行い、それに楕円近似を行ったところ、近似楕円の短軸長の変化から故障を予測可能であることがわかった。今後の課題は、長時間の計測データに対する手法の適用、故障予測中で使用する手法の評価を行い、予測精度の向上を目指すことなどがある。

**研究分野：**モバイルセンシング、モバイルネットワーク、組込みシステム

**キーワード：**時系列センシング、FA 仮想ネットワーク、主成分分析、予知保全

## 1. 研究開始当初の背景

FA 機器のプロセスの一部に異常がある場合には大きく生産性が低下してしまうため、長時間の安定動作を保証できる高信頼性が求められる。長時間動作のためには異常を事前に知ることのできるシステムが必要である。そのための保守管理方法として、打音・動作音・目視等の人手によるチェックや、FA 機器の様々な場所にセンサを取り付けて、センサ値を読み取るという作業も行われているが、人のヒューリスティクスに依存している部

分が大きく、異常の予兆を発見する手法が確立されていない。

消費の多様化が進む現在、FA 機器には同一製品を大量生産するだけでなく、需要に応じて製造する製品を変更できる高い柔軟性が求められる。高機能で様々なシーンに適用可能な産業ロボットが発達し、様々な IoT 機器間との接続が求められる。工場内の情報は秘密情報も多く存在しており、セキュアかつ柔軟な接続性を実現する必要がある。かつ、高い信頼性を備えるためには、生産ラ

インが停止しないよう自己診断や故障予測が必要である。

高信頼化に向け、近年では STAMP (Systems Theoretic Accident Model and Processes/システム理論に基づく事故モデル) が注目されている。STAMP とは、システム理論を利用した事故モデルの構築手法であり、従来の事故モデルでは対応できない複雑化したシステムに対応できる考え方である。しかしこの手法はシステム構成時に不具合の発生しうる原因を洗い出すための手段であり、運用時の不具合の発見や保守管理には適用できない。

分散システムにおける相互作用の因果関係の導出はこれまでも試みられており、時間順序や空間的距離の合理性から因果関係を見出すことが可能であることがわかっている。しかし、これらの因果関係をモデル化するために既存の分散システムの各部分をどのように計測し、それらのデータを収集し、モデル化まで実現するか、また、そのモデルをどのようにそのシステムの保守管理に適用するか、といった点に関して、知見の蓄積は不十分であると考えられる。

分散システムにおける共有メモリの概念をとりこむことで、複数のデバイスからのリアルタイムなデータのやり取りを実現している例が存在する。この仕組みは実際に三菱電機における FA システムに導入されており、FA システムの各機器間の連携協調動作を実現している。ただし、限られた範囲の機器間同士の連携協調にとどまっておらず、FA システムにおける異なるレイヤ間（例えば異なる製品の生産ラインに配置された FA 機器同士）のリアルタイム連携は実現されていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、FA (Factory Automation) システムの高信頼な保守管理を目指し、FA システムを構成する様々な機器・システム同士の相互作用をモデル化するための方法論を検討し、実際に保守管理や高度な連携協調に適用する。

FA システムは、ある製品を効率的に生産するためのシステム群を指し、ロボットアーム・サーボモータ・ベルトコンベア・シーケンサ (FA 機器の制御装置) といった FA システムを構成するための小さな単位の組み合わせによって生産ラインを構成する。生産ラインは製品

種類や生産量に応じて複数配置され、工場内では多くの生産ラインが同時並行的に稼働している。よって、FA システムでは、システムが列挙され、並列に構成され、入れ子になり上位レイヤのシステムに包含され、さらにそれに対しても列挙・並列・入れ子が存在するという構造になっている。よって本研究は、FA システムという枠組みの中で、レイヤの異なるシステム同士が複合的に連携する際の保守管理方法の追求を行い、知見を得ようとする試みである。

## 3. 研究の方法

以下 3 つの課題に分けて研究を進める。

(1) 課題 I: FA システムのあらゆる機器同士が柔軟に接続できるオーバレイネットワークの構築

オーバレイネットワークの構築では、FA 機器の信頼性・柔軟性向上のために、工場内の複数 FA 機器の様々なレイヤの機器をエッジとみなし、仮想的なネットワークを構築し、あらゆるエッジ間を接続可能にする仕組みの実現を目指す。また、そのネットワーク上の任意のエッジ間でセンサ信号を送受信したりクラウド上にセンサ情報を蓄積したりするためのセンサ信号プラットフォームを実現する。

(2) 因果関係モデルを構築するためのセンサ設置手法とデータ観測手法

センサ信号処理では、上記の仮想ネットワーク上で得られるセンサデータや中間処理済みのデータを前提として、高信頼性を担保する FA 機器の保守管理手法の確立を目指す。生産ラインの各機器に対してセンサを配置し、そこから得られるセンシングデータを基に各センサの適切なサンプリングレートとセンサ間の因果関係をモデル化する研究に取り組む。

(3) センサ・アクチュエータ連携による高信頼性 FA システムの実現

因果関係モデルの構築の次の段階として、アクチュエータが近くの他のアクチュエータに影響を及ぼす状況を事前に予測して打ち消し合う動きを発生させることでより高精度な制御を可能にする。

## 4. 研究成果

今年度は昨年度に引き続き、特に課題 II における FA 機



器を対象とした予知保全を目的として研究を推進した。

本研究では、典型的な FA 機器の構造として、2 個のサーボモータを使用したパラレルリンク機構の装置を対象とする。パラレルリンク機構ではリンク間が物理的に接続されているため、一方のリンクに生じた異変が他方のリンクに影響をおよぼすといった相互作用が起こると考えられる。

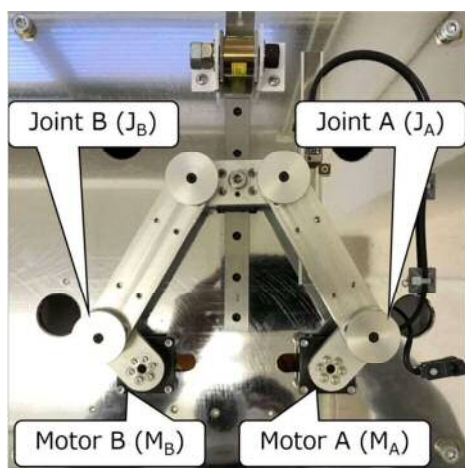


図 1：シンプルなパラレルリンク機構の実験装置

本研究では、リンク間の相互作用を用いて、単一リンクのセンサデータから FA 機器の異常兆候を検出する故障予測手法を検討した。検討手法はパラレルリンク機構の FA 機器の時系列データを使用する。このデータに主成分分析を適用する。主成分分析の結果の変化から故障の兆候を捉え、故障を予測する。分析にはトルク、回転速度、角位置、それぞれの指令値とフィードバック値間誤差の 6 次元データを使用する。

本研究では軸受の焼き付きを想定し、重りを載せて負荷をかける実験を行った。図 1 の JA に重りを載せる。実験では重りを載せていない正常時から 1100g まで 100g 間隔でデータを収集した。本研究では相互作用を用いた故障予測を目指しているため、JA から近い MA だけでなく、離れた MB のデータも分析する。

図 2 に MA の主成分分析と楕円近似の結果を示す。図 2 から重量を大きくすると楕円の短軸が徐々に長くなっていくことが分かる。重量による短軸の変化は MB にも見られ、相互作用が確認された。

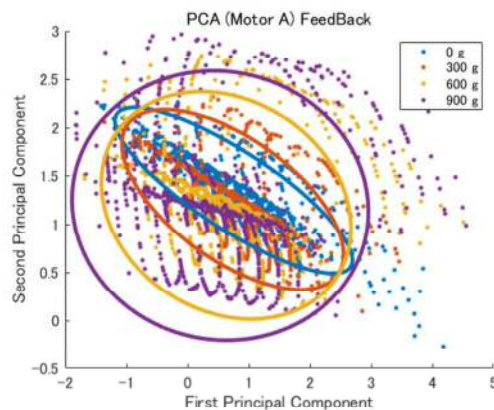


図 2：主成分分析分布の近似楕円が故障の度合いによって変化する様子

主成分分析の結果に対する楕円近似の短軸長の変化から故障を予測する。6 秒時点で 0 g の計測を行い、そこから 6 秒ごとに重量が上がり、1100 g にした 72 秒時点で装置が停止するという状況を設定し、故障タイミングを予測する。MA, MB の短軸の  $\pm 1:96\sigma$  を管理限界とした。各時点までのデータを使って、線形近似し、管理限界との交点から故障時期を予測した。その結果、MA のデータからは 75.62 秒後、MB からは 77.67 秒後に故障するという予測結果が得られ、正解値である 72 秒後の故障タイミングをおおよそ推定できた。

## 5. 本研究に関する発表

- (1) Haga, M., Tsutsui, K., Kaji, K., Naito, K., Mizuno, T., Chujo, N.: Failure Prediction of Factory Automation Equipment using the Interaction between Parallel Links, International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol.12, No.2, pp.131-140, 2020.
- (2) Ando, H., Iwatsuki, Y., Hibi, D., Tsutsui, K., Aoki, S., Naito, K., Chujo, N., Mizuno, T., Kaji, K.: Anomaly detection in FA equipment using an interaction model, International Workshop on Informatics (IWIN2020), pp.49-54, 2020.(Excellent Paper Award)
- (3) 芳賀正憲, FA 機器のリンク間相互作用を用いた故障予測に関する研究, 愛知工業大学修士論文, 2020.
- (4) 岩田大成, 小林十矢, FA 機器の相互作用を考慮した故障予知の検討, 愛知工業大学卒業論文, 2020.