

いまネットワークに思う

伊藤 和人

情報メディア基盤センター長

本学の情報通信ネットワークは、対外接続に学術情報ネットワーク（SINET）を用いている。SINETは国立情報学研究所が運用する、日本全国の大学、研究機関向けの情報通信ネットワークである。現在稼働しているSINET5では、ノードと呼ばれるネットワーク接続拠点が日本全国にあり、ノード間は100Gbps（1秒当たり100ギガビット）の速度でデータ転送している。ノード間接続の1つに障害が起きても、別の接続を迂回することができ、高い信頼性を実現している。本学とノードの間は10Gbpsで接続している。また、スマホなどの移動体やIoT向け無線通信システムでは、5Gと呼ばれる新たな世代の導入が検討されており、より高速な通信の実現を目的の1つとしている。

高速通信により「2時間の映画が数秒で受信できる」などと言われる。これは確かに高速通信の利点の1つであるが、より重視すべき点がある。地デジ放送は、1チャンネルあたり約17Mbpsの通信速度に制限されている。高精細（HD）ビデオのデータは約1.5Gbpsであるが、放送局側で約100分の1にデータを圧縮して制限速度以内で送信し、受信機（テレビ）側で元のビデオに復元する。この圧縮と復元の処理のため約2秒の遅延が生じる。放送は一方方向なので、カメラで撮影した映像が2秒遅れでテレビに表示されても影響は小さい。しかし、テレビ電話やテレビ会議といった双方向通信では往復合計4秒の遅れによりコミュニケーションが成り立たない恐れがある。カメラ映像とロボットハンドを使った遠隔手術では秒単位の遅れは許されない。高速通信ならば圧縮復元処理せずにビデオの通信が可能になり、遅延を削減できる。これが高速通信のもう1つの利点である。

高速通信は多様なクラウドサービスを可能とする。小学校でプログラミング教育が必修化されるが、PCなどの設備整備が難しい。PCよりも安価なタブレットやスマホを端末として用いてクラウド上の仮想学習用コンピュータで課題プログラムを実行し、その画面出力を遅延なく端末に表示できればよい。それには高速なネットワークが必要であり、SINETを小・中学校、高校に接続することも検討されている。高速通信の導入により、プログラミング教育に限らず、様々な教材コンテンツの開発、利用が促進されるだろう。人工知能（AI）には大量の計算処理が必要であるが、クラウド上の高速AIサービスにネットワーク接続すれば簡易な端末でもAIが利用可能になり、様々な場面でのAI応用が期待される。端末とクラウドAIの間には遅延のない高速通信が必須となるだろう。

情報技術の進化は極めて速い。新たなサービス、コンテンツ、アプリが登場し、本学の学内ネットワーク、対外接続も近い将来増速が求められるだろう。情報メディア基盤センターでは最新の技術動向に注視しながら将来を見据えつつ、今できる限り最善のネットワーク環境を提供すべく、日々活動を行っている。

匿名化サービスにおける掲示板書き込みユーザ特定について

吉浦 紀晃

1. はじめに

インターネット上での通信を匿名で行うための手法として匿名化通信がある。匿名化通信の中でも Tor(The Onion Router)[7]が世界中で多く利用されている。Tor は、Web サーバ等と通信をする際、Tor が稼働しているインストールしたサーバを複数経由して通信することで匿名化通信を実現している。Tor ユーザは身元を明かすことなくインターネット上で活動することができる。抑圧的な体制下にある政治活動家やジャーナリスト、内部告発者などが検閲や監視を掻い潜り、情報を発信するために Tor は利用されるようになっていく。2013年6月にアメリカ国家安全保証局(NSA)による個人情報収集の手口を告発した Edward Snowden は、通信の全てが Tor ネットワークを介する OS を利用しており、監視の目を避けるには Tor を利用すべきだと述べている[8]。しかし、Tor の匿名性が犯罪利用される事例は非常に多い[6]。Tor の犯罪利用には違法薬物売買やインターネットバンキングへの不正アクセス等が挙げられる。Tor における匿名性を利用した Web サービスの中では違法コンテンツが 57%を示している[5]。

ここまでの話は、Web サイトへアクセスする Tor ユーザの匿名化についてであったが、Tor ネットワークを利用した Web サービスの提供も可能である。つまり、Web サイトのアドレス等の情報も匿名化することが可能であり、Hidden Service と呼ばれている。Hidden Service を利用した場合、Tor ユーザも Web サイトも匿名化されるため、違法コンテンツのやり取りがあつたとしても、それを取り締まるのが非常に難しい。現在、Tor の犯罪利用に対する取り締まりは、Tor ユーザの IP アドレスを特定し、違法行為を行った Tor ユーザを特定するのではなく、Tor ユーザの IP アドレス以外の情報から特定する等、膨大な時間と労力を必要としており、さらに、必ず特定できる保証もなく、どちらかといえば、特定できる可能性は少ない。

つまり、現在、Tor ユーザのインターネット上での活動を直接特定する手段はない。このため警察はユーザの通信内容の解析以外の手段で証拠を集める必要があり、捜査に遅れが生じたり、容疑者の逮捕や直接的な捜査を行うことができない。一方で、通信の特徴を利用して、Tor ユーザのアクセスした Web サイトを特定するという Web フィンガープリンティング攻撃が提案されている。この文章では、Tor 内で犯罪に利用されやすい Hidden Service の 1 つで、主に違法薬物売買に利用される掲示板サイト「アングラ板」へアクセスした Tor ユーザの特定を Web サイトフィンガープリンティング攻撃により行う研究に

ついて述べる。この文章の内容は、埼玉大学工学部情報システム工学科 2018 年度の西村 玲二君の卒業論文「匿名化サービスにおける掲示板書き込みユーザ特定手法」の内容を要約したものである。

2. Tor

Tor は Web 閲覧の際のプライバシーの保護と匿名化を目的としたオープンソースのソフトウェアであり、元々はアメリカ海軍調査研究所(USNRL)によって開発された[3]。現在は Tor Project により開発が続いている[7]。Tor ネットワークを経由して Web サイトの閲覧が可能な Tor Browser や、通信の全てを Tor ネットワーク経由で行うことができる OS である Tails[9]による利用が一般的である。

通常 Web サイトにアクセスする場合、Web サーバのログファイルに通信元の IP アドレスが記録される。一方、Tor を利用した場合、ボランティアによって運営されている複数のノードを経由して通信を行うため通信元の特定が困難になっている。各ノードは自身が直接通信を行う前後のノード IP アドレスしか知ることができない。ノードは世界中のノードの中からランダムに選ばれる。

Tor の匿名性は内部告発や政治的発言に使われるだけでなくインターネット検閲の回避にも利用される。中国の The Great Firewall(GFW)と呼ばれる巨大なインターネット検閲システムは、インターネット利用者が中国政府に不都合な通信を行おうとした場合、通信を即座に遮断するために導入されたものである[4]。これは 2011 年、Tor による通信がブロックすることができるようになった。そこで Tor Project では GFW に検知される Tor の通信の特徴をなくすツールの開発等で GFW に対抗している[8]。

Tor ネットワークは世界中の Relay ノードと呼ばれる複数のボランティアノードを経由して秘匿通信を行う。Tor ネットワークを構築するノードは 3 つに分類される。

- Entry ノード(入口ノード)

Tor ユーザからの通信を最初に経由するノード。Tor ユーザと通信を行うノードであるため、Tor ネットワーク内で唯一 Tor ユーザの IP パケットを知ることができる。デフォルトでは Guard ノードと呼ばれる一定の条件を満たした優良なノードが選ばれる設定になっている。

- Middle ノード(中間ノード)

Tor ネットワーク内のノード間の通信を経由するノードである。

- Exit ノード(出口ノード)

Tor ネットワーク内のノードから外部の Web サーバに通信を経由するノードである。

Tor を利用して Web サーバにアクセスする場合、図 1 のようにこの 3 種類のノードを経由して通信を行う。

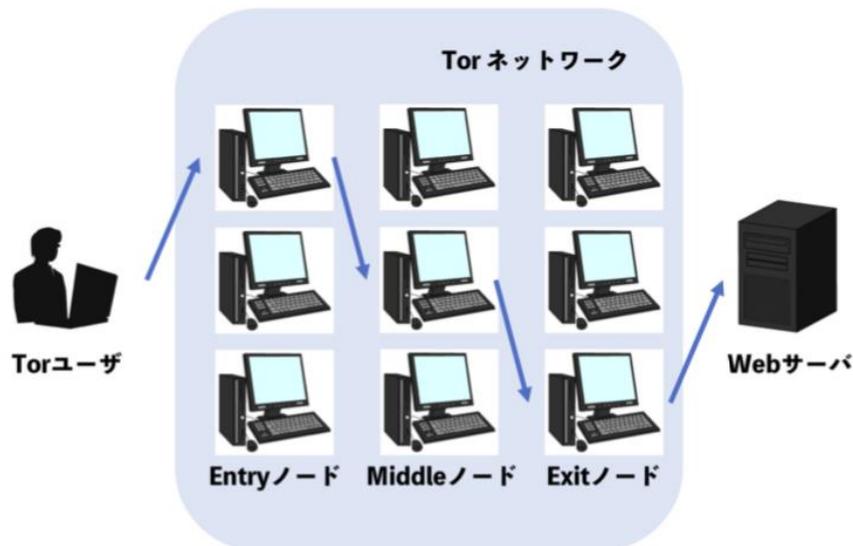


図 1 Tor ネットワーク

Hidden Service は、Tor ネットワーク内においてサービス提供者と Tor ユーザがお互い匿名で様々なサービスを提供できるシステムである。Tor ネットワークを経由した通信でなければアクセスすることができず、“半角英数字 16 桁.onion”という特殊なアドレスを持っている。図 2 に Hidden Service の全体図を示す。Hidden Service は以下のようにして匿名化を行なっている。

ユーザは Hidden Service にアクセスするにはランデブーポイント(RP)を経由して通信を行う。各通信には全て Tor ネットワークのパケットの暗号化と同じ手法が用いられる。

1. Hidden Service のサーバが Tor ネットワークに導入ポイント(IP)を 3 つと Hidden Service の公開鍵を HSD(Hidden Service Directory)に通知する。
2. HSD は 3 つの IP と Hidden Service の公開鍵を登録、公開鍵から派生した 16 文字に“.onion”ドメインをつける。
3. ユーザは“.onion”のアドレスを知り、HSD から IP と Hidden Service の公開鍵の情報を得て、Tor ネットワーク内のノードからランダムに RP を設定する。
4. RP はワンタイムパスワードを設定し、その情報をユーザに送る。
5. ユーザは RP の IP アドレスと RP のワンタイムパスワードを Hidden Service の公

開鍵で暗号化し、それを IP に送る。

6. IP は 5 で送られてきたものを Hidden Service に送る
7. Hidden Service は 6 で送られてきたものを自分の秘密鍵で復号する
8. Hidden Service から RP に RP のワンタイムパスワードを送る
9. RP はワンタイムパスワードを確認し、接続完了をユーザに通知する

Tor ネットワーク上のトラフィックの 80%以上が Hidden Service へアクセスするものであり、この匿名性を利用して多くの違法なコンテンツが提供されている[2]。本研究では、Hidden Service の 1 つであり主に違法薬物売買に使われる掲示板サイト「アングラ板」に対して Web サイトフィンガープリンティング攻撃を行い、アングラ板に書き込んだユーザを特定することを目的とする。

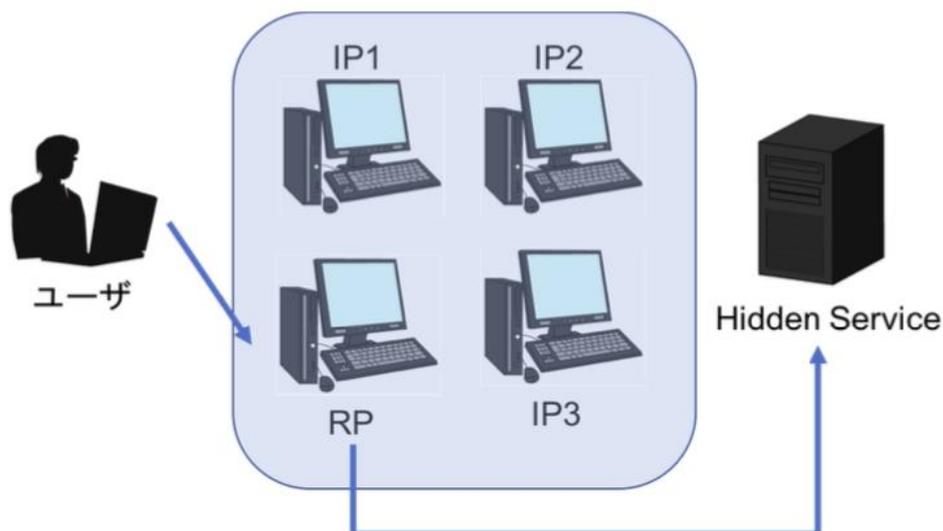


図 2 Hidden Service

3. Web サイトフィンガープリンティング攻撃

Web サイトフィンガープリンティング攻撃とは、Web サイトにアクセスした際のトラフィックに含まれるサイト独自の通信の特徴(パケット長、パケットの総数、日時など)に着目して、それを観測することで利用者がアクセスした Web サイトを特定するという手法である。ここで、通信の特徴をフィンガープリントと呼ぶ。Andriy らの研究[4]では、Tor ネットワーク内で暗号化されている通信に対して Web サイト固有のフィンガープリントを利用し、Web サイトを特定する手法を提案した。この手法ではフィンガープリントに

「パケットの送受信の順序」、「通信パケット長」、「日時」を利用した。Andriy らの研究 [4]は、フィンガープリントの分類に機械学習を利用した。機械学習には Support Vector Machines(SVM)を使用している。キャプチャしたパケットから Web サイトを特定するこの実験での特定率は 54%であった。本研究では、Andriy らの研究のフィンガープリントを利用した手法をベースとし、Web サイト全体の特定をするのではなく、掲示板への書き込みだけを特定することを目的としている。掲示板への書き込みは Web サイトの閲覧とは違い、データを Tor ユーザから送信する。よってフィンガープリントが特徴的であるため、特定率の向上が期待できる。

Xiaogang らの研究[10]と Z.Ling らの研究[11]では高い特定率の Web サイトフィンガープリンティング攻撃を成功させている。これらの二つの手法に共通しているのは、フィンガープリントをより検知しやすいものに細工することで特定率を向上させたことである。Xiaogang らの研究では、攻撃者が管理する Entry ノードと偽コンテンツ、Exit ノードを用意する。管理下の Exit ノードから Web サイトに要求があった場合、管理下の Exit ノードは偽コンテンツを混入させてパケットを中継する。偽コンテンツにはリンク先のないイメージタグが挿入されているため、Web ブラウザは画像を取得しようとする。管理下の Entry ノードはこの時に発生する通信のフィンガープリントを利用して Tor ユーザと Web サイトを特定するという手法である。Z.Ling らの研究[11]では攻撃者が管理する Entry ノードと Exit ノードを用意する。Tor ユーザが管理下の Entry ノードと Exit ノードを利用している場合、Exit ノードから Tor ユーザに向かっていく通信に細工を行うことで攻撃が成立する。その細工とは、管理下の Exit ノードが Tor の通信で発生するパケットの数を少し増やすことで、通常の Tor の通信では発生しないフィンガープリントを作り出す。そのフィンガープリントを利用して Tor ユーザと Web サイトを特定する手法である。これらの研究は強力な攻撃を成功させているが、Tor ユーザが管理下にある Entry ノードと Exit ノードを同時に利用していなければならないため、実現性が低い。この文章で紹介する研究では管理下にある Entry ノードを Tor ユーザが利用している時に成立するものであるため、実現性が高くなっている。

4. アングラ板への通信検出

この文章での研究では、Tor ユーザが直接契約しているインターネットサービスプロバイダまたは Tor ユーザが利用している Entry ノードが、Tor ユーザのアクセスしている Web サイトを Web サイトフィンガープリンティング攻撃により特定する。特にアクセスしている Web サイトの中で、Hidden Service である掲示板サイト”アングラ板”に書き込みを行なっている Tor ユーザを特定することを目指している。

具体的には、アングラ板へのアクセスの packets を収集し、その packets の特徴である packets 長や packets の向きなどの情報を取り出し、この情報を利用して機械学習を利用して、アングラ板への通信であるか否かを判定する。また、アングラ板以外のサイトへのアクセスに関しては、Web サイトへの 1 つのアクセスを判定するのではなく、アングラ板に書き込みを行なっているか否かを判定する。

この研究では初めに、アングラ板へのアクセスを行った時の packets の収集が必要となる。アングラ板へのアクセスは TorBrowser8.0.3 により行い、packets の収集には、wireshark [1] を用いた。

収集し本研究で使用したデータは以下の 3 種類である。

- 書き込み成功 packets
アングラ板に書き込みが成功した packets。
- 書き込み失敗 packets
アングラ板に書き込んだが、書き込みが失敗した packets
- Unmoniterd Site へのアクセス packets
アングラ板以外の Web サイト(Unmoniterd Site)へのアクセスした際の packets

これらのデータのうちアングラ板へのアクセスに関する packets の収集には時間がかかった。特に成功 packets は 1 時間に 1 つ取得できれば良い方であり、1 日使っても取得できない場合があった。今回は、機械学習は問題解決にとって有効な手段であるが、そのためのデータを取得することが困難であった。また、データ量が大きくはないため機械学習の結果が望ましいものとなるかどうかとも問題である。

このような問題もあったが、データを収集し、これらのデータを機械学習に用いた。具体的な機械学習の手法は割愛するが、2 つの実験を行った。

1 つ目の実験は、アングラ板への書き込みの成功失敗の分類を機械学習により行った。利用したデータは、書き込み成功 packets 60 個、書き込み失敗 packets 60 個を学習データとして機械学習を行った。さらに、学習データとは異なる packets 15 個をテストに用いた。詳細は割愛するが、機械学習のパラメータを変更して機械学習を行った平均は、TPR(True Positive Rate)が 70%程度、FPR(False Positive Rate)が 40%となった。決して良い結果とは言えない。

2 つ目の実験では Unmoniterd Site とアングラ板に書き込みを行う packets を分類して、アングラ板に書き込みを行おうとしたかどうかの分類を行った。使用したデータは、書き込みを行おうとした packets を 60 個(書き込み成功 packets 30 個、書き込み失敗 packets 30 個)、Unmoniterd Site へのアクセスした packets 35 個を学習データとした。学習データと

は異なるパケット 15 個をテストに用いた。詳細は割愛するが、機械学習のパラメータを変更して機械学習を行った平均は、TPR が 95%程度であり、FPR が 10%程度であった。2 つの目の実験では、犯罪捜査に利用可能かもしれない程度の結果は得られた。

5. おわりに

この文章では、Tor ネットワーク上での Hidden Service へのアクセスを検知する方法として、機械学習を用いた。犯罪に利用されている Hidden Service であるアングラ板へのアクセスの有無については機械学習に用いた方法でも検知可能であることがわかった。

機械学習による検知方法での課題として、Tor ネットワークの通信方法の変更や Hidden Service の通信の仕方が変更されると、機械学習をし直す必要があることがあげられる。これらの変更に迅速に対応できるようにすることが課題としてあげられる。

参考文献

- [1] WIRESHARK <https://www.wireshark.org>
- [2] Over 80 Percent of Dark-Web Visits Relate to Pedophilia, Study Finds — WIRED <https://www.wired.com/2014/12/80-percent-dark-web-visits-relate-pedophilia-study-finds/>
- [3] U.S. Naval Research Laboratory: U.S. Naval Research Laboratory (online) <http://www.nrl.navy.mil/> 2014.01.31
- [4] Andriy Panchenko, Lukas Niessen, Andreas Zinnen, Thomas Engel: Website FingerPrinting in Onion Routing Based Anonymization Networks, ACM workshop on Privacy in the electronic society, pp.103-114, 2011
- [5] Daniel Moore and Thomas Rid: Cryptopolitik and the Darknet, Global Politics and Strategy, Vol.58, Issue 1, pp.7-38, 2016
- [6] 30% of Tor Web Browser Transactions Found to Be Fraudulent, <https://www.infosecurity-magazine.com/news/30-of-tor-web-browser-transactions-found-to-be>
- [7] Tor Project: Anonymity Online <https://www.torproject.org>
- [8] The Guardian: Edward Snowden the whistleblower behind the NSA surveillance revelations, <https://www.theguardian.com/world/2013/jun/09/edward-snowden-nsa-whistleblower-surveillance>
- [9] The Tails project: Tails-Privacy for anyone anywhere, <https://tails.boum.org/index.en.html>
- [10] Xiaogang Wang, Junzhou Luo, Ming Yang, and Zhen Ling: "A potential HTTP-based application-level attack against Tor", Future Generation Computer Systems, pp.67-77, 2011
- [11] Z.Ling, J.Luo, W.Yu, X.Fu, D.Xuan, and W.Jia: A New Cell-Counting-Based Attack Against Tor, Networking, IEEE/ACM Transactions on, Vol.20, Issue.4, pp.1245-1261, 2012

ヒューズの性能向上のためのシミュレーションソフトウェアの適用

～その2～ 高電圧直流ヒューズに対して

山納 康

1. まえがき

近年、電気自動車（EV と記す）やプラグインハイブリッド自動車（PHV と記す）など電動化が急速に進んでいる。EV や PHV において電動による航続距離を長くすることへの要望は強く、これを解決するために蓄電池のエネルギー密度の増大と大容量化が必要となっている^[1]。そのため車両用の蓄電池は高電圧化が進むことが予想され、これにより蓄電池を含む駆動回路の保護装置であるヒューズも、高電圧に対応したものが求められる。また、EV 用ヒューズは事故時の短絡電流（数千 A）を異常なく遮断できるとともに、過電流（定格電流の 1.5 倍～5 倍程度）に対しても規定の溶断時間で遮断できることが求められる。

直流は一般的に電流零点が存在しないため、ヒューズや遮断器等の保護機器では、アーク放電を発生させ、電源電圧以上のアーク電圧（動作過電圧）を発生させることで、電流を限流して電流零点を作ることで遮断している。電気自動車の高電圧化が進むと、直流ヒューズはより高い動作過電圧を発生させて、事故電流を限流する必要性があり、直流ヒューズの遮断性能の向上が必要となる。これまでの電気自動車用ヒューズにおいて、日本自動車技術会規格^[2]（JASO 規格）で定められている溶断時間特性を満たしつつ、さらに同規格で規定されている 450 V 以上の高電圧で遮断できるヒューズの研究はほとんどない。

そこで本論文では、過電流の違いにより溶断・発弧の場所が変わる 2 箇所（P 部・I 部）の溶断部（遮断部）を持たせたハイブリッドヒューズを用いて、I 部で過電流に対する溶断時間特性を制御しつつ、P 部で短絡電流を遮断し、高電圧化にも対応可能なヒューズの開発を目的とし、P 部と I 部のエレメントパターンを検討した。特に短絡電流のような大きな電流を遮断する P 部の設計には、ヒューズ内部の温度分布を電流－伝熱シミュレーションソフトを適用した。これによりヒューズエレメントの狭小部や放熱部の温度を把握でき、ヒューズエレメントの温度分布を制御できる。今回はヒューズエレメントの狭小部間にある放熱部の長さを適切に変えることで、電流遮断前の発熱と放熱を制御し、狭小部での温度を均一にしたヒューズエレメントを設計した。さらに、設計したヒューズエレメントを試作し、遮断試験を実施して本手法の有効性を確認した。

2. 実験試料・装置・方法

2.1 伝熱シミュレーションによる解析方法

前報^[3]と同様にヒューズエレメントの設計には電流－伝熱の連成計算により行い、シミュレーションソフト COMSOL Multiphysics®（以下、COMSOL と称する）を利用した。COMSOL では、有限要素法による電流－伝熱の連成計算ができ、ヒューズエレメントの温

度分布を調べることができる。シミュレーションでは、以下のように設定して行い、その結果に基づいてヒューズの設計を行った。

シミュレーションは、ヒューズリンク(図 1 参照)およびヒューズエレメント(図 2 参照)のモデルを作製し、それに電流を流した際の発熱及び伝熱を計算した。ヒューズリンクを構成する材料については、ヒューズエレメントと端子は銅製、ヒューズ筒は磁器 (アルミナ) から成る。これらの材料はシミュレーションにおいても忠実に設定した。消弧砂以外の物性値はシミュレーションソフトに設定されているものをそのまま使用している。消弧砂 (SiO_2) の物性値は、過去の溶断時間試験の結果を基に算出し決定した。また、消弧砂は SiO_2 と空気の多孔質媒体で模擬し、 SiO_2 の体積分率を 0.9 とした。表 1 に使用した材料の計算上用いた物性値を示す。有限要素を形成するメッシュはモデル全体で 80 万~160 万個の要素からなる。P 部に設けた半円を模擬するためにヒューズエレメントのメッシュは非常に細かくした。ヒューズリンク及びヒューズエレメントのメッシュの様子を図 3、図 4 に示す。シミュレーションに用いた電流波形は図 5 のように実験で通電する波形を関数で模擬して再現した。温度分布の取得範囲を図 6 に示す。厚さ方向においては中心 (例: 厚さ 0.1 mm のエレメントであれば、表面から 0.05 mm の地点) の温度を表している。図 5 の電流を通電し

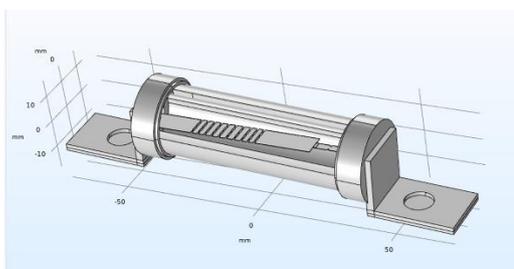


図 1 ヒューズリンクモデル例

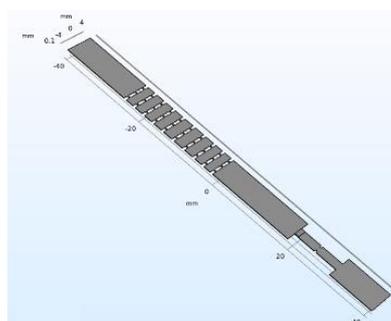


図 2 ヒューズエレメントモデル例

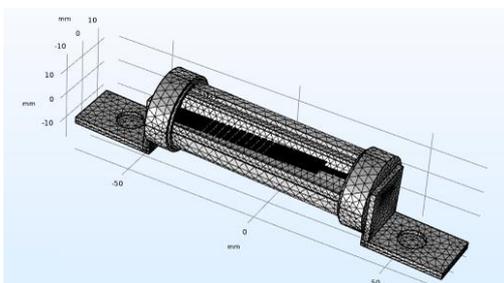


図 3 ヒューズボックスメッシュの様子

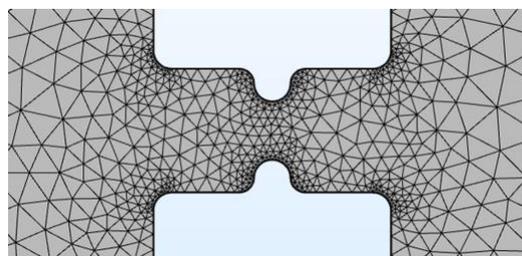


図 4 ヒューズエレメント狭小部のメッシュ

表 1 シミュレーションに用いた物性値

| 物質 | 熱伝導率 [W/(m・K)] | 比熱容量 [J/kg・K] | 密度 [kg/m ³] | 比誘電率 | 参照抵抗率 [Ω・m] | 抵抗温度 計数[1/K] |
|-----------------------|-------------------|------------------|----------------------------|------|-----------------------|-----------------|
| Copper (エレメント, リンク端子) | 400 | 385 | 8960 | 1 | 1.72×10^{-8} | 0.0039 |
| SiO_2 (消弧砂) | 0.65 | 460 | 1200 | — | — | — |
| Alumina(ヒューズ筒) | 4.8 | 900 | 3900 | — | — | — |

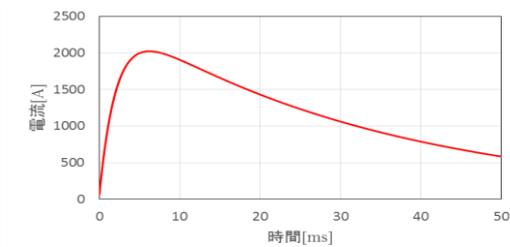


図5 シミュレーション電流波形

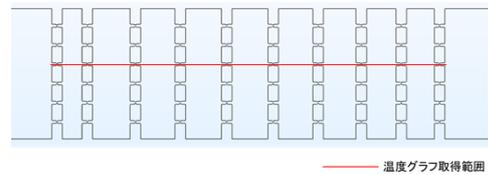
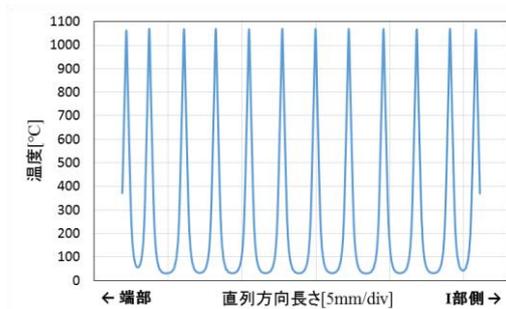
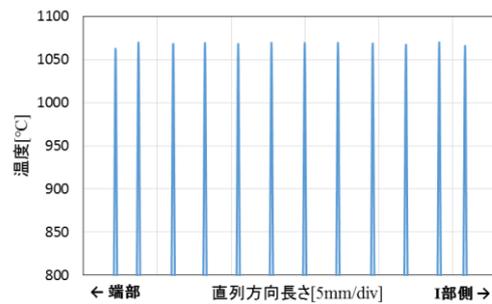


図6 温度分布の取得範囲



(a) 全体図



(b) 温度の上部拡大図

図7 ヒューズエレメントの温度分布の例

エレメントの温度が銅の融点（1085 °C）付近になったときの P 部の温度分布を図 7 に示す。温度分布は縦軸が温度で、横軸は図 6 の温度データ取得範囲であるヒューズエレメントの狭小部の中心線分上である。また、同図において温度が高く上がっている「山」の部分は、遮断部に半径 0.05 mm の半円を設けたくびれ部の最高温度である。以後の計算結果の表示は、図 7(a)の全体図は省き、同図(b)の拡大図のみを示す。

2.2 供試試料

本研究のヒューズでは、電気自動車用ヒューズとして所定の短絡電流や過電流に対する直流遮断及び溶断時間を満たすことが求められる。そのため短絡電流を遮断する箇所（P 部）と過電流を遮断する箇所（I 部）が、同一エレメント上に配置されたハイブリッドヒューズを適用する。P 部は、多数の直列遮断点と並列遮断点を持ち、短絡電流が流れた際にそれらが同時に発弧し、高い動作過電圧を発生できるような構造である。また、P 部の遮断部間には、過電流が流れた際に遮断部の不要溶断を防ぐための放熱部を持たせている。I 部には、過電流の中の小電流域（定格電流の 1.5～2 倍程度）を遮断するはんだ部と、大電流域（定格電流の 3～5 倍程度）を遮断する絞り部の 2 つの箇所を持たせている。

P 部や I 部の構造を変えることで、ハイブリッドヒューズとして JASO 規格を満たす溶断時間特性を維持しつつ、直流遮断特性を向上させ、高電圧の遮断を目的とし、大きく分けて 3 つのシリーズ（AA, HB, HC）のヒューズエレメントを作成した。AA シリーズは従来の JASO 規格の条件（定格電圧：450 V）を、HB・HC シリーズは JASO 規格よりも高電圧の遮断試験の条件を想定し、それぞれ設計を行った。

供試ヒューズエレメントの詳細を図 8 に示す。同図(a),(b)は定格電圧 450V 対応の AA1

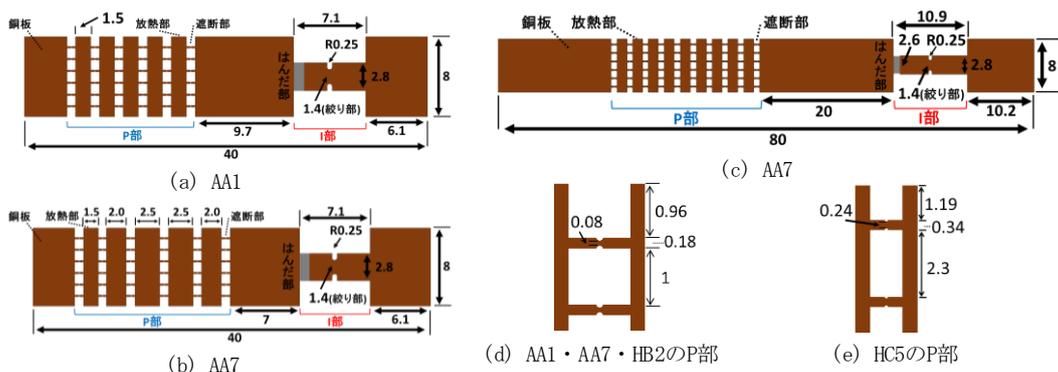


図8 供試ヒューズエレメント

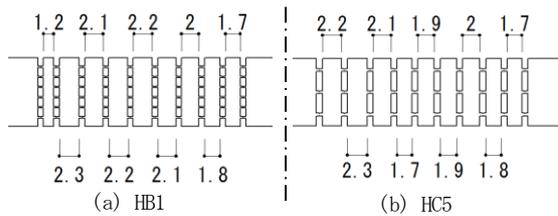


図9 P部における放熱部の長さ

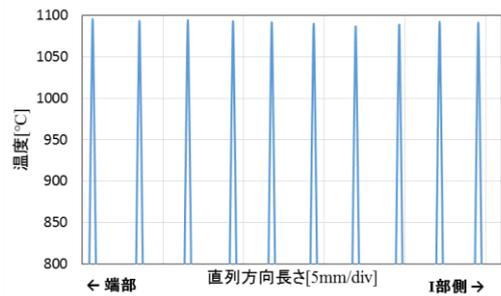


図10 HC5 エレメントのP部の温度分布

と AA7 のヒューズエレメント、同図(c)は高電圧対応の HB1 と HC5 のヒューズエレメント、同図(d)と(e)は各パターン の P 部の遮断部の形状を示している。図中の値はすべて mm 単位である。遮断部の長さは、AA1 が 0.9 mm、AA7 が 0.85 mm、HB1 が 0.65 mm、HC5 が 0.7 mm である。P 部の狭小部の中央には、半径 0.05 mm の半円状のくびれ部が設けてあり、遮断部の発弧がくびれ部から発生するようにしている。

本研究では、以下の設計パラメータを考慮し、設計を行った。

- ① P 部の放熱部の長さ
- ② P 部のくびれ部の幅
- ③ P 部の直列遮断点数

本研究の実験試料は、P 部と I 部の抵抗値比を JASO 規格の溶断時間試験で I 部のみが動作するように 1:0.45 としている。HB1 と HC5 の P 部における放熱部の長さを図 9 に示す。本研究では、P 部の放熱部は、AA1 が 1.5 mm で一様な長さとし、その他の試料は一様な長さではなく、放熱部ごとに長さを決定している。放熱部ごとに長さが異なっているのは、P 部の遮断部の温度を均一化させることが目的である。一例として、HC5 のシミュレーション結果を図 10 に示す。各グラフの「山」の部分の最高温度と最低温度の差が、10°C 未満になるように P 部の各放熱部の長さを変えて、シミュレーションを行い、放熱部の長さを決定している。また、AA7 は過去の結果⁴⁾と経験を基に放熱部の長さを決定し、HB1 と HC5 は COMSOL で直流遮断試験時の熱分布を計算し、その計算結果を基に放熱部の長さを決定した。P 部の並列遮断点数は AA1 と AA7、HB1 が 6 点の並列数で、HC5 が 3 点

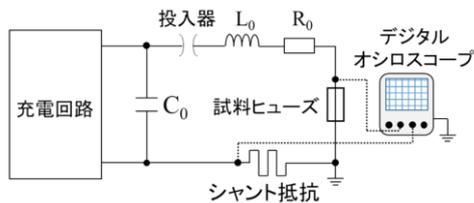


図 11 遮断試験回路

表 2 試験条件と回路素子の値

| No. | 充電電圧 [V] | R_0 [mΩ] | L_0 [mH] | 時定数 [ms] | 短絡電流 [A] |
|-----|-------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| 1 | 460 | 180 | 0.444 | 1.9 | 2000 |
| 2 | 900 | 388 | 0.784 | 1.8 | 2000 |

の並列数となっている。HC は並列遮断点数を減らすことで、くびれ部の幅を広くした。これは、ヒューズエレメントのエッチング加工の時に発生する製造誤差による直流遮断特性への影響を抑えるためである。

P 部の直列遮断点数は AA1 と AA7 が 6 点の直列数で、HB1 と HC5 が 10 点の直列数である。これまでの研究により、交流においては、直列遮断点数を多くすることによって、動作過電圧が高まり、遮断特性は向上する（S 効果と呼ぶ）ことがわかっている。この S 効果を利用して高電圧遮断用の HB1 と HC5 では直列遮断点数を増やしている。また、全ての試料で I 部の直列遮断点数は 1 点、並列遮断点数は 1 点となっている。ヒューズエレメントの抵抗値は、AA1 が 2.51mΩ、AA7 が 2.56 mΩ、HB1 が 3.69 mΩ、HC5 が 3.94 mΩ である。

2.3 遮断試験装置・方法

直流遮断試験で用いた回路を図 11 に示す。合成コンデンサ C_0 は試験条件 1 で 0.146 F、試験条件 2 で 0.088 F、シャント抵抗は 0.81 Ω である。遮断試験の条件と回路素子の値を表 2 に示す。本実験では、JASO 規格 No.D622-11「ねじ締め型高電圧ヒューズ」に基づき、固有電流 2000 A で立ち上がり時定数は 2.0 ± 0.5 ms とし、充電電圧は従来の JASO 規格に基づいた 460 V と高電圧化を想定した 900 V の 2 種類を試験条件とし、直流遮断試験を行った。

遮断試験方法を以下に示す。

- (1) 充電回路によって合成コンデンサ C_0 を所望の電圧まで充電する。
- (2) 投入器を動作させ、試験ヒューズに直流電流を流し、電圧電流波形を測定する。
- (3) 波形データから諸特性（動作過電圧、残留電圧、動作 I^2t 値など）を解析する。

3. 試験結果および検討・考察

AA1 と AA7 は表 2 の試験条件 1 で、HB1 と HC5 は試験条件 2 でそれぞれ直流遮断試験を行った。直流遮断試験で得られた電圧・電流波形を図 12 と図 13 に、表 3 に遮断特性（動作過電圧、残留電圧、動作 I^2t 値）を示す。AA1 と AA7 では、電流通電から 26.2 ms と 39.6 ms 経た後に電流の遮断が行われた。AA7 は、充電電圧 460 V に対し、動作過電圧・残留電圧ともに十分大きく、良好な遮断特性が得られた。HB1 と HC5 はそれぞれ電流通電から 39.5 ms と 47.5 ms 経た後に電流遮断が行われ、充電電圧 900 V を超える動作過電圧

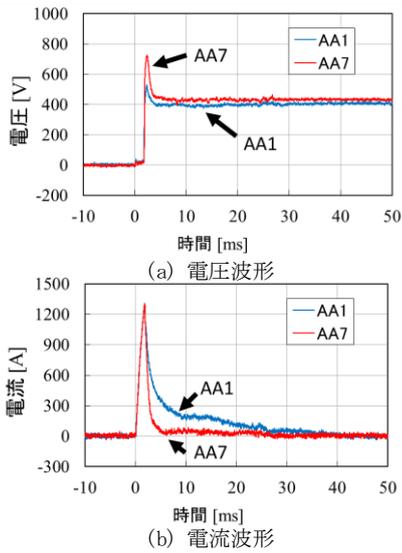


図 12 AA1, AA7 の遮断波形 (充電電圧 460V)

が得られた。しかし、AA7 の電流波形と比較すると、HB1 と HC5 の電流波形は、200 A 前後の電流が尾を引くように流れている。このことから、充電電圧 900 V に対し、限流効果が弱いことが考えられる。また、HB1 に比べ、HC5 は動作過電圧・残留電圧ともに大きく、動作 I^2t 値も抑えられているものの、遮断完了までの時間は HB1 の方が早かった。これは、P 部の並列遮断点数を減らしたことにより、1 つの遮断部に流れる電流が大きくなり、アーク放電が残りやすくなったことが考えられる。

電流の通電開始から銅の融点 (1085°C) 付近になる時間までの P 部の温度を計算し、HB1 と放熱部の長さが一定のもの (Constant と記す) について各狭小部の温度を比較した。図 14 にその比較を示す。同図でプロット点は平均値、エラーバーは最大値と最小値である。同図より放熱部を調整することで、くびれ部の温度のばらつきが軽減されることがわかる。実験ではこれに対応した試料として AA7 が放熱部を調整した試料で、AA1 が放熱部の長さが一定である。放熱部を調整した AA7 は、放熱部の長さ一様な AA1 よりも溶断・発弧する瞬間のくびれ部の温度が均一に近づき、同時に発弧しやすくなったため、AA7 の方が動作過電圧は 200 V 程度高くなったと考えられる。

直列遮断点数が増え、より複雑な構造になった HB1 と HC5 においても、放熱部の長さを調整することで、遮断部は同時に発弧し、AA7 よりも動作過電圧が高くなり、S 効果が見られた。しかし、HB1 と HC5 は直列遮断点数が同じ試料であるが、動作過電圧に約 450

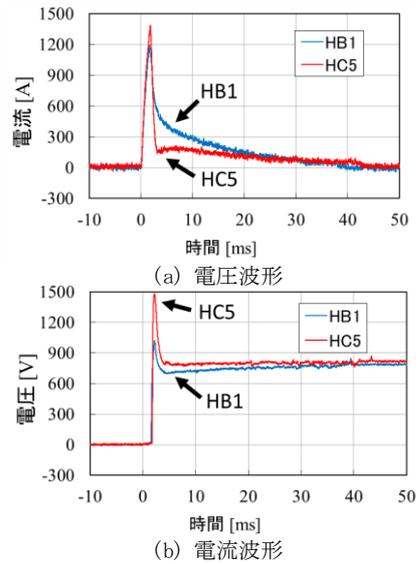


図 13 HB1, HC5 の遮断波形 (充電電圧 900V)

表 3 各供試ヒューズの遮断試験結果

| | 動作過電圧 [V] | 残留電圧 [V] | 動作 I^2t [A ² s] |
|-----|--------------|-------------|---------------------------------|
| AA1 | 540 | 413 | 3329 |
| AA7 | 748 | 440 | 1991 |
| HB1 | 1040 | 807 | 3632 |
| HC5 | 1499 | 833 | 2776 |

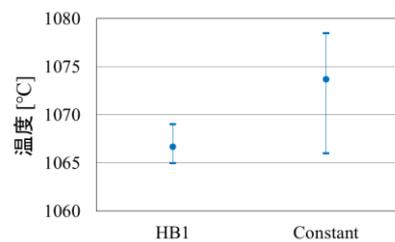


図 14 HB1 の P 部の温度比較

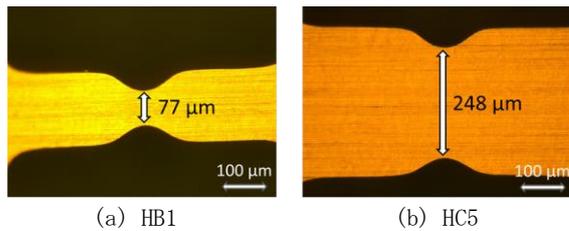


図 15 P 部の狭小部の拡大写真

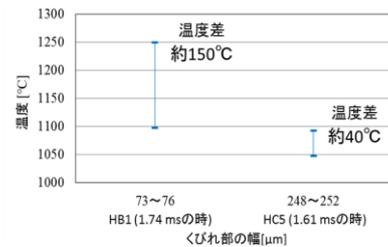


図 16 製造誤差で生ずる温度ばらつき

Vの差が生じた。この原因を探るべく、デジタルマイクロスコープを用いて、HB1とHC5の遮断部を観察した。観察した遮断部を図15に示す。P部のくびれの幅を測定した結果、同一試料であっても最大でHB1が約3 μm、HC5が約4 μmの差が存在した。この製造誤差がP部の遮断部に及ぼす影響を計算した。それぞれの試料の製造誤差によって発生する温度差を図16に示す。計算結果から、同一試料の遮断部間で、HB1は約150 °C、HC5は約40 °Cの温度差が存在する可能性があり、HC5の方がP部の温度を均一に保つことがわかる。これは、HC5のくびれ部の幅を広げることによって、くびれ部の幅に対する製造誤差の相対誤差を $3/80 = 3.75\%$ から $4/240 = 1.67\%$ まで抑えたためである。

4. まとめ

本研究では、電気自動車用ヒューズの高電圧化を目指し、電流の違いにより2箇所の溶断（遮断）ポイントを持たせたハイブリッドヒューズを設計・試作を行い、直流遮断特性と溶断時間特性を検証した。本研究の結論を以下に示す。

- ・電流遮断時のヒューズエレメントの温度分布を、電流と伝熱の連成計算を用いてヒューズエレメント狭小部の温度を定量的に制御することで、遮断性能を従来のものより向上させることに成功した。
- ・P部の遮断部間にある放熱部の長さに違いを持たせることで、直流遮断試験時に各遮断部の温度差が抑制され、P部の同時発弧が起きやすくなり、直流遮断特性が向上し、充電電圧900 Vの試験条件において遮断に成功した。
- ・P部の遮断部のくびれ部の断面積を広げることで、エッチング加工の時に発生する製造誤差の影響を抑え、P部の同時発弧を促して動作過電圧が向上し、高い限流効果を得ることができた。

参考文献

- [1] 森口, 榎本, 山本, 福田, 尾崎, 池田: 「EV・HEV 溶大電流メインリレーの小型化技術」, Panasonic Technical Journal Vol.61 No.1(2015)
- [2] JASO 規格[D]電装 No.622-11: 「自動車部品-ねじ締め形高電圧ヒューズ」 (2011)
- [3] 山納: 「ヒューズの性能向上のためのシミュレーションソフトウェアの適用 ～その1～」, 埼玉大学情報メディア基盤センター年報, Vol.25, pp.12-18 (2018)
- [4] 野口: 「ハイブリッドヒューズの遮断および溶断特性の改善に関する研究」, 平成28年度埼玉大学卒業論文(2017)
- [5] Y Ishikawa et.al.: “Dependence of current interruption performance on the element patterns of etched fuses”, 8th International Conference on Electric Fuses and their Applications, pp.51-56, 2007

双対過程を用いた計算とは？

大久保 潤

1. 計算における時間の役割について

スマートフォンを手にする。指でタップすると、目に見えない《計算》が走っていく。私たちが意識しなくても、何かしらの《計算》が常に世界に遍在している時代になった。非常に身近に、影のような存在として。そして今なお、人工知能、より正確に言えば機械学習による《計算》の技術の進展は続いている。《計算》はその重要性をさらに増しつつある。

さて、ここでは《時間》というものに着目して《計算》について考えてみたい。

入力データに対して適切な出力を学び取るのが機械学習であり、そのなかでも近年有名な手法が深層学習であって、生物の脳の構造をまねたニューラルネットワークと呼ばれるものにその基礎をおいている。図1に示すように、ニューラルネットワークは神経細胞、すなわちニューロンを模したノードが、シナプス結合を模した重み係数でつながれて作られる。その計算の詳細までにはここでは触れないけれども、入力に対して数学的な変換をおこなって中間層への信号を計算し、続いて中間層からの出力に対して数学的な変換をおこなって、最終的な出力信号を計算する、といった形になっている。

つまりは、《計算》は順番におこなわれる。入力、中間層、出力、という具合に。

実際の深層学習はもっと複雑で、たくさんの中間層が使われる。しかし基本は変わらない

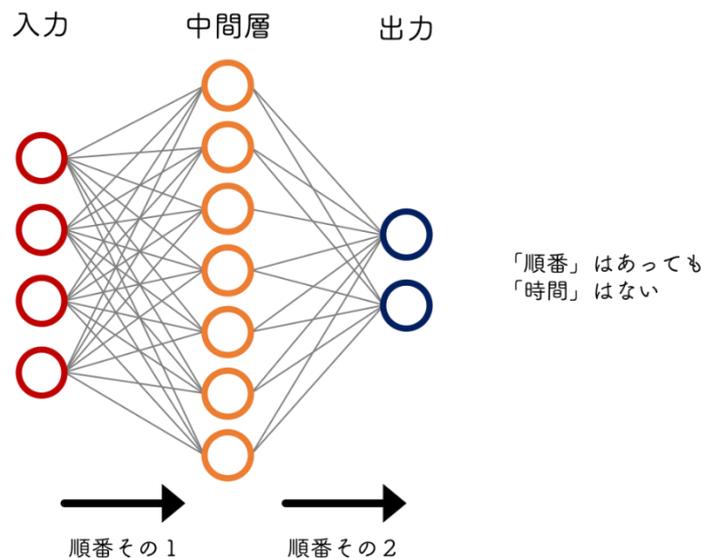


図1 ニューラルネットワークにおける計算の順番

注) 本稿は、筆者の研究の一端をできるだけわかりやすく紹介することを意図した《読み物》です。

い。順番に、規則正しく、アルゴリズム的に《計算》がおこなわれる。

でも、実際の生物の脳を想像してみしてほしい。脳は、物理的なものである。神経細胞があって、電気信号が伝わって……。もちろん計算の《流れ》はあるけれど、《時間》が飛び飛びになっているわけではないだろう。現実には、《時間》は連続的に流れていくものだから。

一方で、さっき説明したように、ニューラルネットワークは人工的なものだから、基本的に《時間》の流れというのではない。計算する順番があるだけのこと。

実際の生物の脳のように、神経細胞の発火、いわゆる《スパイク》を利用したニューラルネットワークの研究も進んではいる。もちろん、現在のデジタルコンピュータの特性と性能を考えると、連続的というよりは離散的に計算を進めるほうが効率はよいのかもしれない、という気もする。コチ、コチ、コチ、という動作を連想させる、クロック数という呼称もあるくらいだから……。けれど、生物の脳とほぼ同じような構造で、つまり連続的な《時間》のなかで情報を処理したら何が起ころのだろう、と想像してみると、楽しい。生物の脳のように《計算》をしたら、どんなことができるようになるのだろうか。人間のように思考するニューラルネットワークが作られるのだろうか。それはどのようなハードウェア、機械に実装されるのだろうか。

《時間》の観点から《計算》や人工知能を考えると、発想が色々と飛んで、面白い。

2. 人工細胞は金融工学の夢を見るか？

発想のついでに話も飛ばしてみる。ニュース等で見かける株価や為替のグラフを思い浮かべてほしい。図 2 左に示すようなギザギザな線に一喜一憂する人も多いのだろう。

ギザギザな線は、ギザギザだからもちろん滑らかではない。いわゆる《微分可能》ではないので、数学的にはとても扱いづらいものだった。その扱いづらさをきちんと数学的に記述する方法を考えたのが日本人数学者の伊藤清。なお、当時のことなどを本人が書いた文章も残されている¹⁾。数学的に扱えるようになったことで金融工学という分野もできたし、さまざまな応用分野で確率微分方程式が使われるようになった。

さて、ここからがようやく本稿の本題である。

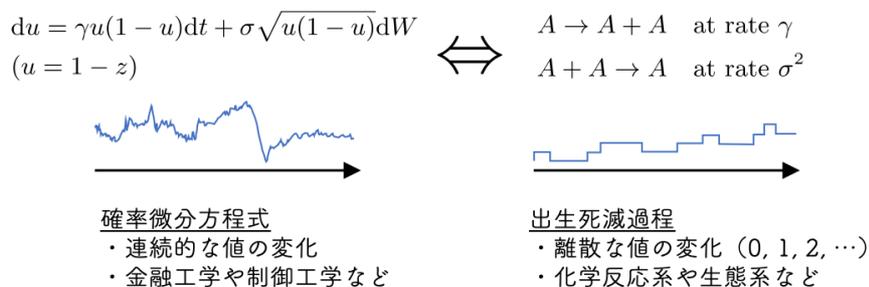


図 2 連続と離散の2つの確率過程と双対性

確率微分方程式では連続的な時間が扱われる。物理的な世界、現実的な世界で、ノイズの影響をきちんと考慮した数学的な道具立て。それが確率微分方程式なのだけれど、これは見るからにギザギザであって、微分可能ではないので、扱いづらい。それに対して、その双対過程と呼ばれるものが知られている。図 2 右に示したものが、図 2 左の確率微分方程式に対する双対過程。こちらは生物の個体が生まれてきたり、逆に死亡したりする過程を表すために使われたりもするので、出生死滅過程と呼ばれる。個体数を表すから、状態は離散な値をとる。つまり、0、1、2、……と数えることができる世界。これは株価や為替、ギザギザな確率微分方程式とは大きな違いであって、少し扱いやすくなる。

量子力学と呼ばれるミクロな物理の世界や確率的な世界では、粒子が突然生まれたりする。《突然》というのは、《順番》というよりは《連続的な時間》にこそふさわしい、という気がする。実際、確率微分方程式と同じく、出生死滅過程もまた、連続的な時間をもつ。ニューラルネットワークの《順番》という人工的な時間の流れではなく、現実世界の連続的な時間の流れ。現実世界のものは、やはり連続的な時間の流れで表現されるはずだ———ということは、物理的な世界、この現実世界のための数式と相性のよさそうな《計算》は、確率微分方程式に基づくものではないか、とも思えてくる。そして実際に確率微分方程式は、ロボットなどにおける《計算》、つまりノイズを取り除いたりする《フィルタ》であったり《制御》といった文脈でも使われている。

時間という切り口で《計算》を眺めてみる。これによって、やはりまたこれまでとは少し違った風景が見えてきそうではある。

さて、話を戻すと、さらっと登場したかに見えた双対過程、つまり出生死滅過程ではあるけれど、そもそもこれは何者なのだろうか。出生死滅、例えば化学物質が生成して消滅する、という現象を表すために使われるのであれば、まだ理解できる。でも、ここでは確率微分方程式に対する《双対》という形で登場してきた。《双対》とはどういう意味だろうか。

実はこれまでの研究で、出生死滅過程に対する《計算》によって、少し扱いづらい確率微分方程式に対する《計算》をできてしまう、ということが知られている。しかも、ある面では計算を効率よくできるようになる、といった利点があることもわかっている。

つまり、本当に解きたい確率微分方程式の《裏側》の顔、のようなもの。それが《双対》。本来は、何かしら現実の現象があって、それを数学的に表現するために方程式がある。でも、ここでは現実の現象をその出自としない、確率微分方程式から純粹に数学的な《対》として現れた出生死滅過程。それが《双対》な確率過程である。

《双対》を利用した《計算》を夢想する。人工的に設計された細胞のなかの化学反応が引き起こす生成と消滅が、金融工学の問題を解く日は来るのだろうか？

さて、ここで細かい部分にまで立ち入る余裕はないけれど、筆者の最近の研究によって、これら異なる二つのもの、確率微分方程式と出生死滅過程がどのようにつながるのかがわかってきた^{2,3)}。次にその鍵となるアイデアを簡単に紹介する。

そしてそのアイデアのポイントは、やはりここでも《時間》なのである。

3. 時間を逆向きにするというアイデア

実は、数学や物理の分野で、すでに確率微分方程式と出生死滅過程の《双対性》が知られていた。でも、よくわからない点も多かった。

なぜ一見すると無関係そうな二つの《過程》が結びついているのだろうか？

どのようにして、双対となる《過程》を見つけることができるのだろうか？

《双対》という考え方は色々な分野に現れるのだけれど、確率過程の《双対》を初めて知ったとき、その結びつきがよくわからなくて、いくつか論文を調べてみた。——でも、よくわからない。ヒューリスティックな方法、いわゆる発見的手法、簡単に言えば、えいやっ、となぜかわからないけれど頑張って探してみたら双対であることを示せた、という論文もあったりした。そこで自分なりに色々検討をしてみたところ、《時間発展を逆向きにする》という考え方がポイントであることがわかってきた。

確率微分方程式においては、ある初期値から出発して《過去から未来へ》時間発展をさせる。つまり、時間を連続的に流す……というよりは、普通に時間が流れるだけのこと。そして、そこにはギザギザ、つまりノイズの影響がある。すると、一定時間後にどの場所にいるのか、を確実に当てることはできなくなる。そこに確率の要素が入ってくる。だからこそ、《確率》微分方程式、と呼ぶのだけれど、結果として確率の分布が生まれる。この場所にいる確率はこのくらい、別の場所にいる確率はこのくらい、といったものを集めたものが確率の分布である。

その分布に対して平均を計算することを数式で表現したものを図 3 に示す。つまり、一定時間後に、どの場所に確実にいる、とは言えないから、平均としてどのあたりの場所に存在するのか、をもってその代わりとする。確率の議論の常套手段である。

計算の細かい説明は省略するけれど、簡単に言えば、図 3 に示すように、初期時刻からの時間発展をして、その後に平均を計算、という枠組みが通常の計算である。

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x e^{\mathcal{L}t} \delta(x - x_0) dx$$

時間発展をする「演算子」

初期時刻では x_0 にいる

時間発展をする (分布が求まる)

もとまった分布の平均を計算する

図 3 双対性の数理的な解釈のキーポイント

図3での、時間発展をする「演算子」というものがここでのポイントになる。これを作用させると、時間が前向きに、つまり普通に過去から未来へと進んでいく。

実は《双対》では、時間発展の演算、すなわち《演算子》を、《右側》の初期状態に作用させるのではなく、《左側》に作用させることが重要だとわかった。実はこれは、《時間》を《逆向き》に進行させることに対応する。

——時間を逆向きにする。何か怪しい気がする……かもしれない。科学的ではないような感じが。ただ、実際には未来から過去に時間を遡るといった話ではなく、目的地にたどり着くためにはどのように進んで行くべきであるのかを、逆向きに検証しながらたどっていく、という説明が適切だろう。なかなかイメージしづらいかもしれない。ただ、この《時間を逆向き》というアイデアは数学や物理学でもよく見るものでもある。

さらに言えばワイル代数や関数展開など、他にも必要な数学の道具がある。最近になって、ようやく簡単な道具立てで双対を理解できるようになり、数学的に綺麗に解ける対象だけではなくて、工学的、実用的だけれど少し扱いづらい、つまりあまり数学的には綺麗ではない対象についても《双対》の考え方を利用できるようになってきた。つまり、《双対》を使った《計算》である。

この《計算》の鍵は、やはり《時間》だ。

ニューラルネットワークのような《順番》、つまり人工的な時間ではなくて、現実世界の連続的な《時間》の流れを、逆向きに作用させる。《時間》という概念を、なんだか自然に反するような形で使い倒している気がしてくる。

けれど、ここで考えたいのは《計算》である。欲しいのは、微分方程式に対する平均値の《計算》の結果であって、別に自然現象をそのまま理解したいわけではない。そもそも《計算》は、何かしらの目的のために実行される。目的のため、つまりあくまでも人間の都合、解釈の問題であって、工学の問題である。だから、《時間》をうまく利用して、新しい情報処理の枠組みを作れるのであれば、それは素敵なことだろう。

以上が、確率過程の《双対性》を利用した《計算》の枠組みの、その取っ掛かりの部分である。理論的にはうまくいく——あくまでも理論的には。

この、理論的な《計算》の枠組みを、実際に使えるような形にもっていけないか、ということが現在の筆者の研究課題である。

4. 計算方法の多様性に向けて

ムーアの法則、と呼ばれるものがある。計算機の能力は、より正確に言えば集積回路のトランジスタ数は1.5年で2倍になっていくという予言的な法則であり、実際、これまでほぼこの法則にしたがってきたことがわかっている。ただし、ものごとには何にでも限界があるもので、微細化の限界、つまり物理的に装置をすごく小さくしすぎて、さすがにこれ以上は無理、という感じにもなってきて、ムーアの法則の終焉か、とも言われてきている。

そこで登場してきた概念が **Domain specific architecture** というもの。汎用的に使えるいわゆる《コンピュータ》ではなくて、適用領域や対象を絞ることで、用途は限られているけれど、すごく速かったり、効率が良かったり、という計算機のこと。D-wave と呼ばれる量子コンピュータや富士通のデジタルアニーラなどは、最適化問題を解くためにイジングモデルとよばれる形式の問題に特化した計算機で、すでに販売・サービスが始まっている。現在の一般的な計算機の一步先が、もう実現しつつある。

さらに、研究段階ではあるけれど、粘菌を使った計算機、というのもある⁴⁾。そしてそれならば、化学反応系の数理を使った「計算機」があってもいいじゃないか……ということ、いつか双対の数理で導出された出生死滅過程が、化学反応を使って実装されて、確率微分方程式の《計算》のために利用されるようになるかもしれない。

中央のサーバにすべての情報やデータを集約し、それを高性能な人工知能が処理をしてすべての判断をください……というディストピアにも思える未来よりは、分散的でプライバシーも保たれつつ、地球にも優しく、持続可能な、というコンセプトにも合致する《計算》の枠組みを作ってみたい。《計算》における、多様性の問題……。

《時間》を軸にして話を進めてきて、少し遠くまで話が飛んでしまった。

人工的な、順番の概念を用いたニューラルネットワークではなくて、いつか、本当の生物の脳のようなメカニズムを使って《思考》をする計算機に出会ってみたい。そのために、地道に、連続的な《時間》に関する《計算》の研究を積み重ねていきたいと思う。

参考文献

- [1] 伊藤清：確率論と私，岩波書店（2018）。
- [2] Ohkubo, J.: Extended duality relations between birth-death processes and partial differential equations, J. Phys. A: Math. Theor. Vol. 46, No. 37, Article No. 375004, pp. 1-11, DOI: 10.1088/1751-8113/46/37/375004 (2013).
- [3] Ohkubo, J. and Arai, Y.: Duality in stochastic processes from the viewpoint of basis expansions, J. Stat. Mech., Article No. 062303, pp. 1-13, DOI: 10.1088/1742-5468/ab1dd9 (2019).
- [4] 萩谷昌巳・横森貴（編）：自然計算へのいざない（ナチュラルコンピューティング・シリーズ 第0巻），近代科学社（2015）。

自動運转向けソフトウェアプラットフォーム Autoware と MATLAB/Simulink の連携

安積 卓也

1. はじめに

近年、自動車の自動運転に関する研究が盛んに行われてきている。自己位置推定、環境認識、経路計画等自動運転の備えるべき機能が多くあり、その構成も日々複雑になっている。

上記の機能一式を揃えた完全自動運转向けのソフトウェアプラットフォームとして、Autoware[1]が提案されている。Autoware は自動運転に必要な機能やライブラリが含まれているオープンソースのソフトウェアであり、実データを用いた自動運転車のシミュレーション及び実車の操作が可能である。現時点で、多くの企業に利用されている。

一方、自動車産業では、モータやエンジン制御の設計に MATLAB/Simulink が広く利用されている。最近では、制御関係だけではなく、機械学習やディープラーニングを用いた画像処理及び経路計画といった自動運転に必要なプロセスの設計開発にも利用されてきている。例えば、人や車両、標識の認識や、目的地までの最適な経路を算出する機能等が、ディープラーニングを用いて MATLAB/Simulink 上で開発されている。

しかし、このように MATLAB/Simulink 上で開発された機能（以降、モデルと呼ぶ）は、現在開発で採用されているフレームワークでは Autoware で直接利用できていない。MATLAB/Simulink で開発されたモデルを Autoware で利用するためには、そのモデルの Autoware に対応した C++コードを作成し、Autoware に手動で組み込む必要がある。MATLAB/Simulink には C++コードの生成機能は存在するが、現時点で ROS（後述：Autoware で用いているミドルウェア）に対応したコードを生成できないため、上述のような手法を用いる必要があり、開発効率が悪くなる。さらに、MATLAB/Simulink のシミュレーション環境は Autoware と異なるため、Autoware に組み込んだとしても正常に動作しない可能性がある。

これらの問題を解消するために、Autoware と MATLAB/Simulink の統合開発を可能にするフレームワークを提案する。MATLAB/Simulink で開発されたモデルを ROS ノードとして管理することで、Autoware との通信を可能にする。そのため、MATLAB/Simulink で開発したモデルを C++化して Autoware に組み込むことなく利用可能になるため、開発効率が改善する。

ここでは、提案フレームワークを理解する上で必要な ROS の基本を説明した後、対象となる自動運転システム「Autoware」の構成を説明する。そして、本フレームワークで提供されている機能を紹介する。

2. 背景知識

2. 1. Robot Operating System

ROS は Linux (Ubuntu) 上で動作するオープンソースミドルウェアであり、ロボットアプリケーション開発に適した様々なツールやライブラリを提供する。ROS に基づくアプリケーションはノードと呼ばれる独立したプロセスで作られる。

ノード間の通信は主にメッセージを用いた Publish/ Subscribe モデルに基づいて行われる (図 1)。メッセージとは C の構造体のような構造をしており、トピックは各ノードがメッセージを特定するために用いられる。各ノードは自身の位置 (IP アドレスとポート番号) とそのトピックを ROS マスタに登録する。ROS マスタは登録されたトピックを確認し、各ノードに所望のノードの位置を知らせる。そして、ノードはトピックを通じてメッセージをやり取りする。図 1 の例では、まず、カメラノード (パブリッシャ) がその位置とイメージトピックを ROS マスタに登録する。次に、車検知ノード (サブスクライバ) がその位置と所望のトピック (イメージトピック) を ROS マスタに登録する。ここで、ROS マスタがトピックの一致を確認し、そのパブリッシャとサブスクライバに相手の位置を知らせる。そして、パブリッシャがサブスクライバにメッセージを送ることで、データのやり取りを行う。

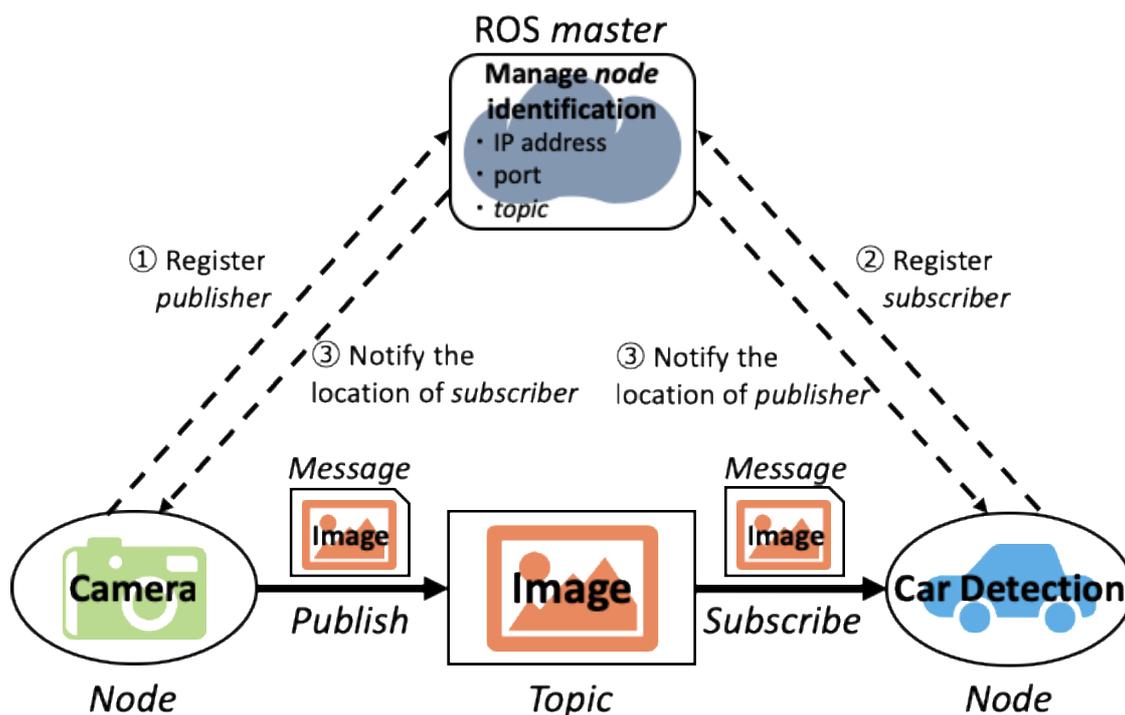


図 1. ROS の Publish/Subscribe 通信

2. 2. Autoware

Autoware は、完全自動運转向けソフトウェアプラットフォームである。Autoware では高精度 3 次元地図 (図 2 (a)) を用いた自動運転を行っている。高精度 3 次元地図は、点の

集まりの点群地図と経路計画等で利用するベクタ形式の地図を合わせた地図である。

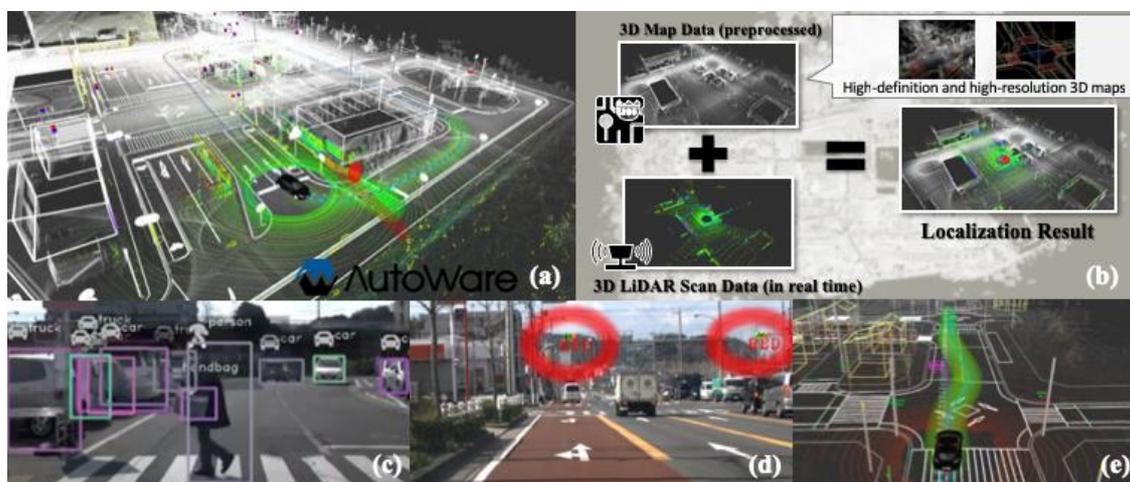


図 2. Autoware の自動運転モジュール：(a) 高精度 3 次元地図、(b) スキャンマッチングを用いた自己位置推定、(c) カメラを用いた物体認識、(d) 信号認識、(e) 経路計画

自己位置推定：Autoware では、3次元点群地図と LiDAR（360 度の距離を測定できるセンサー）でスキャンされた点群データを照合することで、車両の自己位置を算出している（図 2 (b)）。この手法はスキャンマッチングと呼ばれ、平均誤差は数センチメートルのオーダーである。加えて、IMU や CAN からの情報を組み合わせることで、自己位置推定の精度をより向上させている。

環境認識：Autoware は、Caffe や OpenCV といった一般的なライブラリを利用して、カメラ画像から物体を検出可能である（図 2 (c)）。利用可能な物体認識アルゴリズムは、Single Shot MultiBox Detector（SSD）、You only look once v2（Yolo v2）、Yolo v3 である。これらは、リアルタイム実行を可能にするために完全畳み込みニューラルネットワーク（CNN）アーキテクチャに基づいている。一方、画像内の対象物の向き勾配フィーチャのヒストグラムを検索してスコアリングする変形可能部品モデル（DPM）に基づくパターン認識アルゴリズムも備わっている。さらに、カメラ画像ではなく LiDAR から得られる点群データを用いて物体認識を行うこともできる。

Autoware における信号認識では、3次元地図における信号機の座標、車両の自己位置、カメラ・LiDAR・車両の位置関係を考慮することで、カメラ画像における信号機の注目領域（ROI）を制限できる（図 2 (d)）。これにより、計算時間を短縮し、同時に信号機の色認識精度を高めている。

経路計画：スタート地点からゴール地点までの大まかな経路を計画する（図 2 (e)）。これは、グローバルパスプランニングとも呼ばれ、この経路を基に車両はどのような経路で目的地まで進むのかを決定する。経路計画によって生成された経路に対し安全な軌道を算出し

ます。これは、ローカルパスプランニングとも呼ばれ、車両が走行するための安全な軌道を算出する。

経路追従: 車両が走行するためのステアリング及びアクセル・ブレーキのパラメータを算出する。Autoware では、pure pursuit アルゴリズムを用いて車両の各パラメータを生成している。

3. Autoware と MATLAB/Simulink の統合開発フレームワーク [2]

本フレームワークによって提供されている機能を用いることで、効率よく Autoware と MATLAB/Simulink を用いた開発を行うことができる。本フレームワークの主な機能は以下の通りである (図 3) :

- MATLAB テンプレートスクリプトと Simulink テンプレートモデルの生成、及びテンプレート生成機能を支援する視覚化ツールの提供
- Runtime Manager 上で MATLAB/Simulink の一部機能の操作、ノード情報の表示、及び本フレームワークで提供された機能を利用可能にする

次に、この各機能の設計及び実装方法について述べていく。

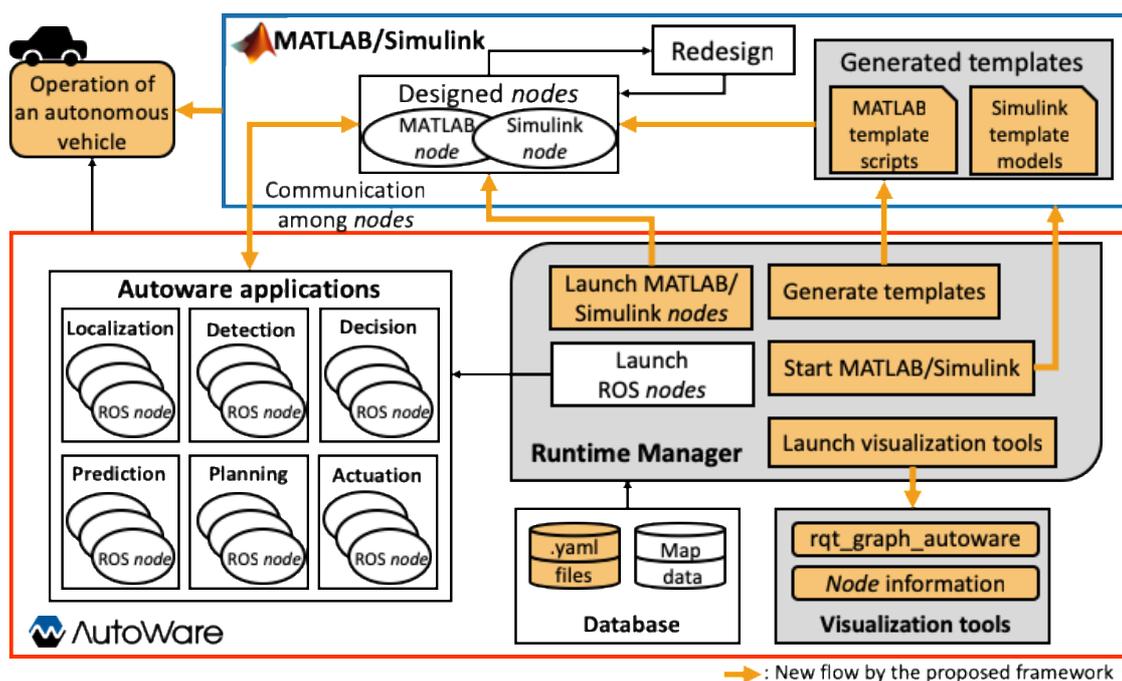


図 3. 本フレームワークの概要

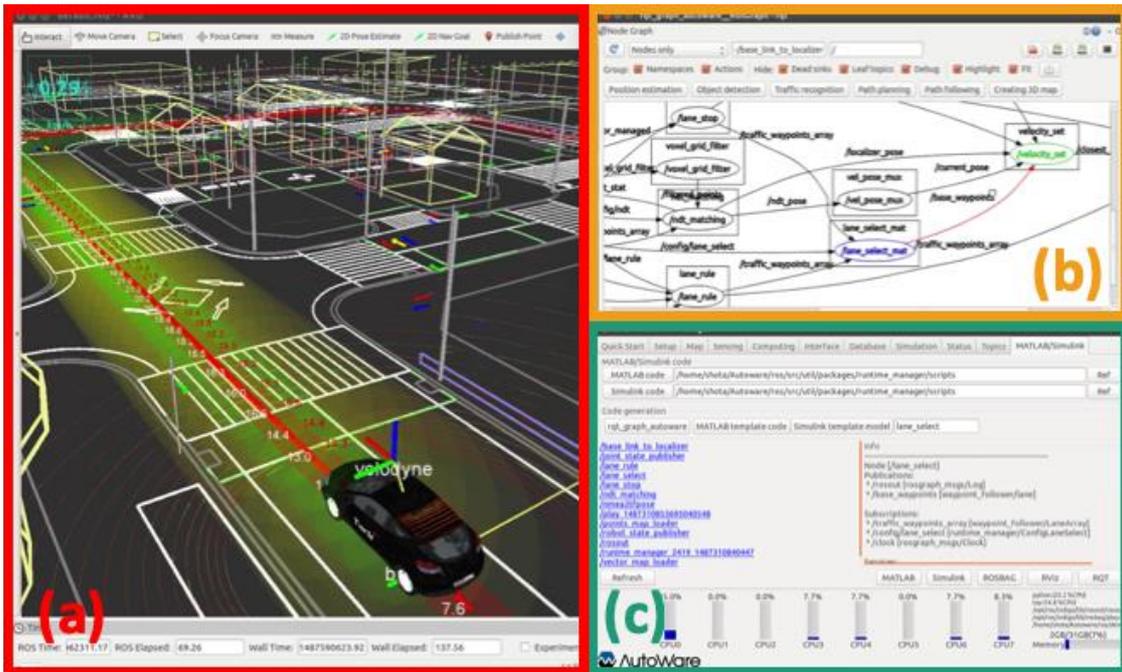


図 4. (a) Autoware 用のシミュレーション画面、(b) `rqt_graph_aware`、(c) MATLAB/Simulink を操作するための Runtime Manager

3. 1. テンプレート生成

MATLAB/Simulink を使って Autoware 用のノードを作成する際、ノード名、Publish/Subscribe するトピック、及びそのトピックのメッセージ型の情報が必要となる。これらの情報は、Autoware のソースコードを解析するか、ROS のコマンドを入力することによって得ることができるが、これらの解析作業は開発者、特に ROS に詳しくない開発者にとって負担になる。そこで、これらの必要不可欠な情報を含んだ MATLAB テンプレートスクリプトと Simulink テンプレートモデルを自動生成する機能を提供する。この機能を用いて生成されたテンプレートを利用することで、開発者は効率よく MATLAB/Simulink ノードを作成できる。

さらに、このテンプレート生成機能を補助する 2 つの視覚化ツールも提供している。1 つは `rqt_graph_aware` プラグインである (図 4 (b))。これは、ROS に搭載されている視覚化ツールである `rqt_graph` の機能に加え、Autoware の、自己位置推定、物体検出、信号認識、経路計画、経路追従、3次元マップ作成といったサブシステムごとにノードの依存関係を描画する機能を持つ。この機能により、開発者が Autoware のサブシステムに含まれたノードを視覚的に知ることができる。

もう 1 つのツールは、現在立ち上がっているノードのリストを Runtime Manager 上に表示する。そして、その表示されたリストからノードを選択することで、選択されたノードによって Publish/Subscribe されるトピックの情報を表示できる。この機能を利用することで、ノードの入出力の情報を簡単に得ることができる。

3. 2. MATLAB/Simulink 用の Runtime Manager

Autoware と MATLAB/Simulink は異なる GUI を用いて操作される。これは、2つを同時に利用するユーザにとって手間になる。そこで、Autoware の GUI ツールである **Runtime Manager** に GUI を追加して、MATLAB/Simulink の操作と提案フレームワークが提供する機能の操作を可能にした。追加された GUI によって利用可能になった機能は主に以下の通りである (図 4 (c)) :

- MATLAB 及び Simulink の起動
- MATLAB スクリプト及び Simulink モデルの実行
- MATLAB テンプレートスクリプト及び Simulink テンプレートモデルの自動生成
- `rqt_graph_aware` プラグインの起動
- ノード情報の表示

開発者はこれらの機能を **Runtime Manager** 内の他の機能と同様の方法で利用できる。

4. まとめ

画像処理や経路計画といった自動運転機能の開発には、機械学習やディープラーニングといった技術が用いられている。これらの技術は、従来自動車産業で用いられている MATLAB/Simulink でも利用可能であり、そのため、MATLAB/Simulink を用いた自動運転システムの開発が活発に行われている。

ここでは、その MATLAB/Simulink を用いて開発されたシステムを、自動運転用オープンソースソフトウェアである **Autoware** で効率的に利用するための統合開発フレームワークを紹介した。本フレームワークを用いることで、MATLAB/Simulink で開発されたシステムを **Autoware** と連携して利用できる。

参考文献

- [1] Shinpei Kato, Shota Tokunaga, Yuya Maruyama, Seiya Maeda, Manato Hirabayashi, Yuki Kitsukawa, Abraham Monrroy, Tomohito Ando, Yusuke Fujii, and Takuya Azumi, "Autoware on Board: Enabling Autonomous Vehicles with Embedded Systems," In Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCPS2018), Porto (aka Oporto), Portugal, Apr. 2018.
- [2] Shota Tokunaga, Yuki Horita, Yasuhiro Oda, and Takuya Azumi, "IDF-Autoware: Integrated Development Framework for ROS-based Self-driving Systems Using MATLAB/Simulink," In Proceedings of the Workshop of Autonomous Systems Design (ASD2019), Florence, Italy, Mar. 2019.

利用者のネットワーク障害対応を支援する運用管理手法の研究

小川 康一、吉浦 紀晃

1. はじめに

大学では、ネットワークの利用者が自ら導入したルータやイーサネットスイッチなどのネットワーク機器の操作や設定を誤り、ネットワーク障害を頻発させている。利用者は IT に詳しくないため、専門知識のある人に相談する。しかし、本学の場合、障害解決のための専門の窓口は用意されていない。そのため、障害解決は大学のネットワーク管理者が行っている。大学の管理者は少数であり、利用者が起こした障害に即座に対応することは難しい。

この課題に対し我々は、先行研究において、利用者のネットワーク機器の LED インジケータ（以下、LED）をカメラで監視する監視装置[1]を開発し、移動ロボットで監視装置の情報を収集する方法[2]を提案している。この方法は、LED によるネットワーク機器の障害検知を実現したが、実際のネットワーク障害そのものの解決には至っていない。現状では、ネットワーク障害を解決するために、管理者がネットワーク障害のある場所へ行き、利用者端末の設定確認などの原因特定や、ネットワーク機器の設定変更などの障害解決を行う必要がある。このように、利用者環境での障害解決は管理者の負担が大きく、新しい解決手法が求められている。

そこで本論文では、監視装置の情報をもとに障害のある部屋に移動ロボットが訪問し、利用者と対話することによって障害解決を支援する手法を提案する。

2. 移動ロボットによるネットワーク機器の監視手法

本章では、本論文での提案手法を説明する前提として、これまでに著者が取り組んできた先行研究について説明する。

2.1 画像処理によるネットワーク機器の監視

利用者のネットワーク機器は、必要となる機能が最小限であり、監視プロトコルである SNMP (Simple Network Management Protocol) [3]や管理機能がない。そこで、我々は小型コンピュータと Web カメラを用いてネットワーク機器の LED の点滅状態を取得することで定常的な監視を行う監視装置[1]を提案している。本提案手法は、ネットワーク管理者が障害対応の際に普段おこなう、ネットワーク機器を「目視」で確認する点に着目したものである。ネットワーク機器の表示部は、機器の状態や接続箇所の状態を表している。LED の状態を収集する手法には LED の表示特性に応じて 2 種類がある。

方法の一つは、静止画で LED の状態を比較する方法である。カメラで LED の情報を収集する。これを画像処理により切り出し、2 値化処理を行う。そのため現状では、色の状態変化には対応できない。白くまとまった範囲をblobという単位で識別する。正しい状態と

異常時の状態でブロードの状態が異なるので、この情報を利用してネットワーク機器の状態変化を認識する。メディアコンバータの識別例を図1に示す。



図1 ラベリング処理によるLED検出の例

静止画の場合は、LEDの状態を撮影するカメラはそのままネットワーク機器に取り付けるとズレが生じて正しく認識ができない。このため、ネットワーク機器に取り付け可能なアタッチメントを開発した(図2)。



図2 Webカメラのアタッチメントの装着例

もう一つの方法は、例えば、イーサネットスイッチのループ形成時に、LEDが激しい点滅をする場合である。この場合、動画で撮影し、オプティカル・フローで障害を検知する(図3)。



図3 オプティカル・フローによる状態認識の例

動画の場合は、多くのネットワーク機器に対応できるように、機種を限定せずに機動性を備えたシステムを採用した(図4左)。Raspberry Piでは高フレームレートの動画の取得が難しいため、小型でパフォーマンスが高いIntel NUC[4]を採用した。また、Webカメラも広角でフレームレートが60fps確保できるものを採用した。

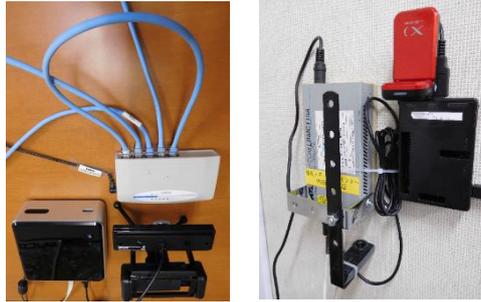


図4 監視システム（左：イーサネットスイッチ監視システム、右：メディアコンバータ監視システム）

先行研究[1]では、監視装置を開発し、この監視装置を利用した監視システムを構築している。本提案手法をもとに実装したシステムは、埼玉大学で利用しているメディアコンバータを監視対象として実験を行い、3G/LTEの移動体通信回線（以下、移動体通信回線）を利用して情報収集できることを確認した。監視装置は小型化のため **Raspberry Pi** を採用した（図4右）。このように先行研究により、ネットワーク機器の **LED** を利用した監視が可能となる。しかし、監視装置から監視情報を収集する場合、移動体通信回線を利用する必要があり、監視対象が多数となる場合はコスト高となる。

2.2 移動ロボットによる監視情報の収集

2.1 で述べた監視装置による利用者のネットワーク機器監視は、実験により一定の有効性を確認できた。しかし、監視専用のネットワークを監視装置分用意する必要があるなど、コスト面での問題があった。ネットワーク障害時には、監視対象のネットワーク機器が管理する有線ネットワークや Wi-Fi 通信網は利用できない。そのために、移動体通信回線を利用する。移動体通信回線を用いる場合、少数の監視装置を運用する場合は問題とならないが、多数の監視装置を運用する場合にはコスト面の懸念がある。そこで、管理者の負担を軽減する新たな情報収集の手法が必要となる。この解決策の一つとして、我々は移動ロボットを活用する手法[2]を提案している（図5）。



図5 情報収集を行う移動ロボット（左：ロボット全体像、右：センサー群）

移動ロボットでの情報収集は、監視装置を設置した部屋の廊下を走行することにより、

無線通信により収集する。図 6 にその概要を示す。

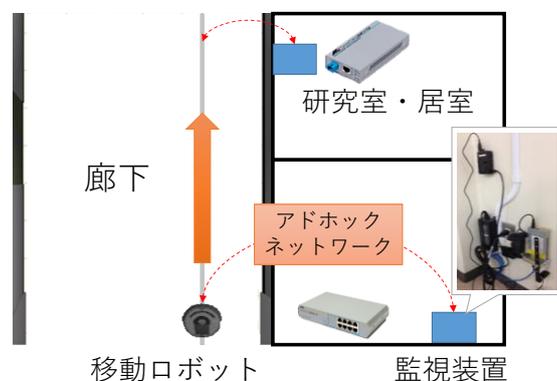


図 6 移動ロボットによる情報収集の概要

ここで、移動ロボットを利用した監視システムの全体像について図 7 に示す。

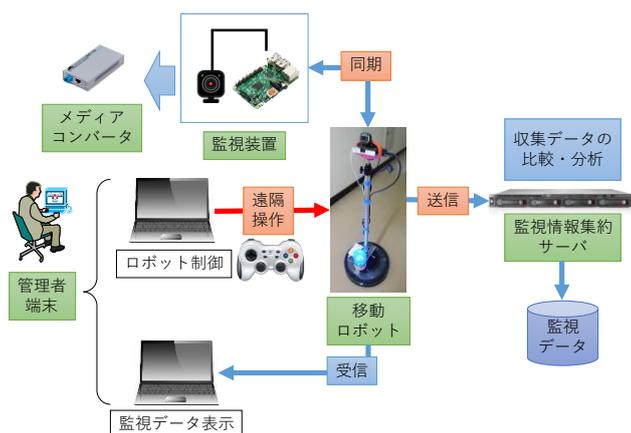


図 7 移動ロボットを用いた監視システムの概要

監視システムは、監視装置、移動ロボット、監視情報集約サーバ（以下、サーバ）、管理者端末（監視データ表示、ロボット制御の 2 台）で構成する。監視対象のネットワーク装置ごとに監視装置を設置する。監視装置は無線インターフェースを持ち、移動ロボットとアドホック接続を可能とする。移動ロボットは移動体通信回線で通信を可能とする。移動ロボットの移動制御プログラムは管理者端末のうちロボット制御を担当する端末で稼働する。

監視システムの動作を説明する。監視装置設置箇所の近傍を通信機能のある移動ロボットが巡回する。監視装置が取得したデータは、移動ロボットが近傍に訪れる際にデータを移動ロボット経由でサーバに転送する。サーバに監視装置からのデータを集める。ネットワーク管理者は、サーバから最新の監視状況を管理者端末のブラウザで受信するとともに、必要に応じてサーバに蓄積された監視情報を閲覧できる。

本提案手法は、遠隔操作で行っていたが、先行研究[5]でウェイポイントによる自動化を行っている(図8)。また、この発展としてRSSIの値を調査することにより、通信品質の向上を行う手法[6]も開発している。

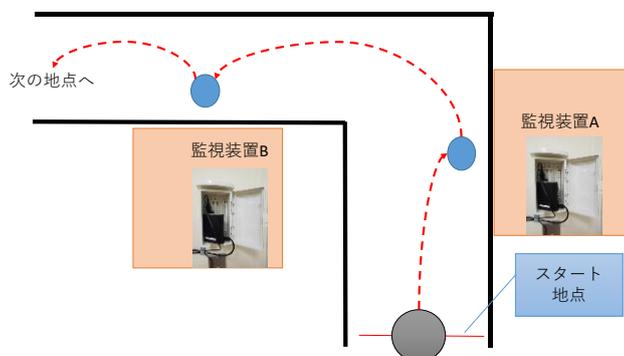


図8 ウェイポイントによる監視情報の自動収集

3. 提案手法

本章では、移動ロボットに機能を追加し、利用者の障害対応を支援する手法について述べる。

3.1 利用者の障害対応を支援するシステム

本論文では、先行研究[5, 6]を発展させ、利用者のネットワーク環境で発生する障害解決を行う。ネットワーク障害のある場所を移動ロボットが訪問し、利用者と移動ロボットとの対話によりネットワーク障害の解決を自動化する方法を提案する。具体的には、移動ロボットが利用者に障害の原因を究明するための作業を依頼し、利用者が移動ロボットの依頼に沿ってネットワーク障害の解決のための操作を行う。ネットワーク障害のある場所に存在する障害物を考慮し、移動ロボットにタブレットを搭載する。タブレットは、移動ロボットから取り外しを可能とし、利用者がタブレットを操作することで可動性を確保する。

提案手法は、既設の監視装置とサーバ、移動ロボット、管理者端末で構成する。先行研究[6]ですでに移動ロボットは監視装置の情報に基づきネットワーク障害がある場所に訪問可能である。そこで、以下の機能を持つ移動ロボットシステムを提案する。図9に提案手法の全体像を示す(番号は図中に対応)。

- ①障害内容から対応方法を検索する。データベースに障害内容と対応方法を蓄積する。
- ②利用者は、タブレットの音声や文字の案内に従い、端末の操作や機器の状態を確認する。
- ③利用者は、コマンドの出力結果や端末の状態をタブレットのカメラで撮影し、サーバへ送信する。
- ④撮影した画像は、画像処理プログラムで状態を把握し、再度①で対応方法を利用者へ提示する。

⑤障害が解決しない場合、管理者は対応履歴を踏まえ①の機能を用いて新たな対応を依頼する。

⑥障害対応の履歴はデータベースに登録し、以後の障害解決の精度を向上させる。

上記のうち、本論文では、利用者との対話部分である①、②、③、④を範囲とする。具体的には、対話部分は **Android** アプリケーションで実装する。操作の中で撮影した画像をもとに、端末画面の特徴から **OS** を判別し、エラー画面の情報を文字列として判別する画像処理プログラムを開発する。取得した情報は、自然言語処理の形態素解析や機械学習の分類手法で分析し、対応方法検索プログラムにより必要な操作を利用者に提示する。

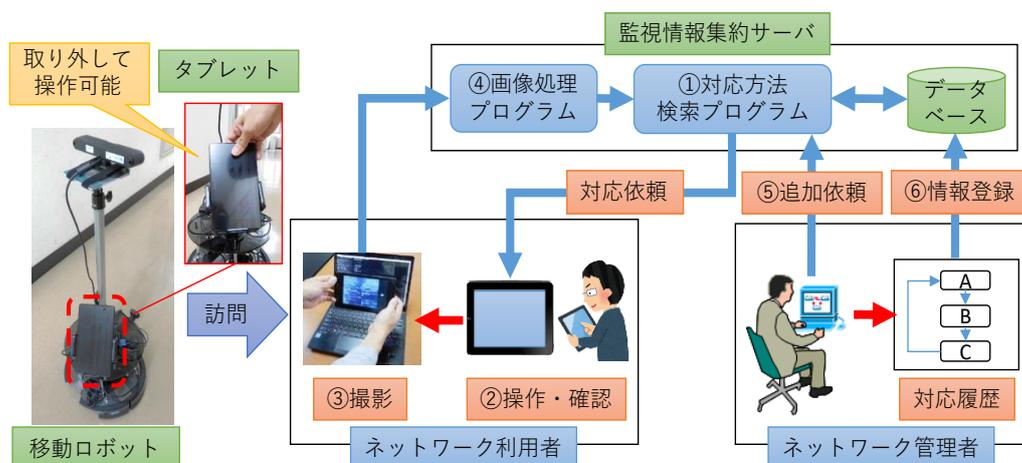


図9 提案手法の全体像

本論文では移動ロボットが不具合のある部屋の近辺に到達している前提で、その後の障害対処の部分に焦点をあてて述べる。障害検知から障害解決までの流れは、図10のようになる。

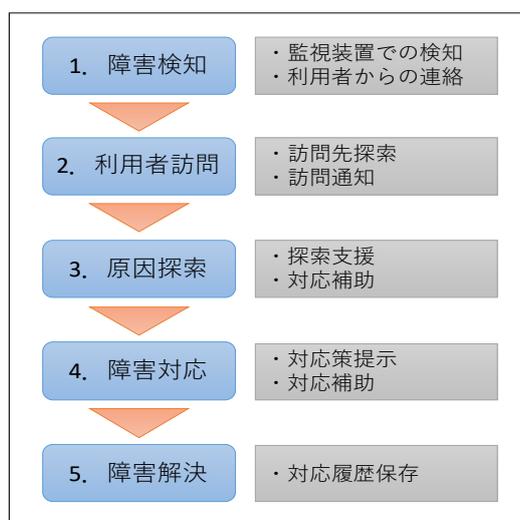


図10 提案手法の処理プロセス

本論文では、障害を検知し、訪問先が決定した後の処理の 3 の原因探索と 4 の障害対応に主眼を置く。

4. 実装方法

本章では、前章の提案手法に基づき、試作システムの実装方法について述べる。

4.1 試作システムの全体像

試作システム（以下、システム）は、前述の図 7 の監視装置、移動ロボット、サーバ、管理者端末（監視データ表示、ロボット制御の 2 台）に加え、移動ロボットに新たにタッチパネル式の端末を用意し、これをコミュニケーション端末として用いる。さらに、移動ロボットが到達できない箇所でのカメラでの撮影を想定し、タブレットを装備する。

通信は、利用者のネットワーク環境は障害で利用不能なため、移動ロボットの移動体通信回線をアクセスポイントとして用い、通信に利用する。コミュニケーション端末とタブレットはアドホックネットワークで移動ロボットを経由してインターネットやサーバと通信する。画像処理や画像認識など、負荷のかかる処理はサーバへ送信し、処理を行い、処理結果のみを移動ロボットへ返却する。移動ロボットとサーバ間では、OpenVPN[7]により暗号化ネットワークが構成されている。システムの構成概要は図 11 のとおりである。

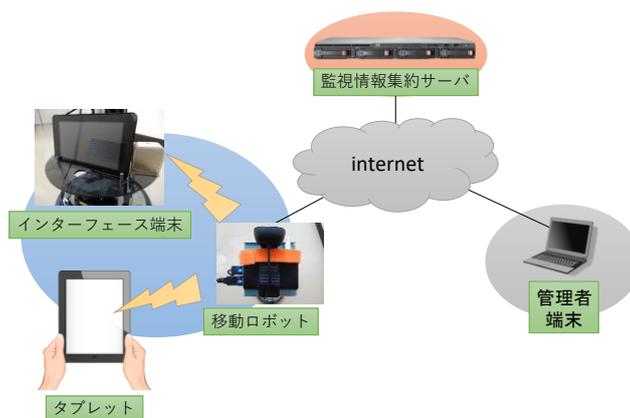


図 11 システムの構成概要図

タブレットは 7 インチでフロント側にカメラを持つ Asus の Nexus7 (2013) を採用した。タブレットは、移動ロボットにタブレットフォルダーを設置し、フォルダーから利用者が自由に取り外し可能とした。コミュニケーション端末[8]は Raspberry Pi3 を元にデザインされた 7 インチのタッチパネル端末である。

タブレットの Android のバージョンは、6.0.1 (コードネーム : Marshmallow) である。ただし、本論文で開発する Android アプリケーションは 4.0 (コードネーム : IceCreamSandwich)以上を対象としている。

4.2 移動ロボットへの機能追加

移動ロボットは、先行研究[5、6]の移動ロボットを引き続き利用する。移動ロボットは iRobot 社のルンバ[9]を採用している。台座とポールは文献[10]のものを採用している。SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) により自動走行を実現するため、レーザレンジファインダーなどのセンサー類は先行研究[5、6]を引き継ぎ、継続して利用する。移動ロボットのフレームワークには、ROS[11]を採用する。

利用者の障害対応を行うために、移動ロボットにコミュニケーション端末を実装した(図12)。コミュニケーション端末はタッチパネル式となっており、Bluetooth で接続したスピーカーから音声が出る仕組みとなっている。コミュニケーション端末の役割は、訪問先の利用者との対話が目的であり、対話の開始点となっている。コミュニケーション端末の GUI は Python の GUI を作成する標準ライブラリである Tkinter[12]を利用した。



図 12 コミュニケーション端末とスピーカー

移動ロボットが利用者の居室へ到着した際、なんらかの方法で到着を知らせる必要がある。移動ロボットがドアをノックすることは難しい。そこで、本論文では利用者を音声で呼び出して扉を開けてもらう方法をとる。音声エンジンである Open JTalk[13]を用い、到着したことを利用者に知らせる。各機器の型名は以下のとおりである。

- コミュニケーション端末 : Raspberry Pi3 Touch-Screen Kit
- Bluetooth スピーカー : ANKER SoundCore nano A3104

利用者支援のための通信は先行研究[1]から監視情報の通信に採用している MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [14]を利用する。

4.3 端末の確認方法とパソコン画面の撮影の支援

ネットワークの障害時、本学では、ネットワークの接続性を確認する必要から、管理者は IP アドレスや MAC アドレスを確認する方法を取っている。利用者からの電話での問い合わせがあるが、操作方法を説明しても正しく操作できない場合がある。IT に詳しくない利用者は、コマンドプロンプトやターミナルを起動することも、これらのアプリケーションを起動すること自体を躊躇することもある。そこで、システムでは、確認方法とパソコン画面

の撮影を支援する。図 13 に画面撮影の例を示す。



図 13 タブレットによる端末画面の撮影例

4.4 タブレットの移動ロボットへの返却状態検知

タブレットは移動ロボットに備えたタブレットホルダーに配備する。利用者は、タブレットホルダーからタブレットを取り出して撮影に利用する。利用者が端末の画面を撮影した後、タブレットをホルダーに返却したか、状態を検知するために、タブレットホルダーにマイクロスイッチを取り付けた (図 14)。



図 14 マイクロスイッチによるタブレットの返却検知

コミュニケーション端末の **FINISH** ボタンを押した後、一定時間後にマイクロスイッチが **ON** になった状態でなければ、タブレットがないと判断し、スピーカーから警告メッセージを発する。マイクロスイッチは、オムロンアミューズメント社の **D3M-01L1**[15]を用いる。マイクロスイッチは、コミュニケーション端末を構成する **Raspberry Pi** と **GPIO (General Purpose Input/Output)**ピンにより接続する。

4.5 タブレットの動作

利用するタブレットの動作を図 15 に示す。動作は以下の手順の通りである。

1. 利用者がタブレット内のアイコンをタップする。
2. タイトル画面 (図 16 左) が起動し、「**START** ボタン」をタップする。
3. 操作説明が行われたのち、カメラを起動して利用者が端末の画面を撮影する。
4. 画像選択画面 (図 16 右)「**SELECT IMAGE** ボタン」で画像を選択し、「**UPLOAD IMAGE**

ボタン」で画像をサーバへ送信する。

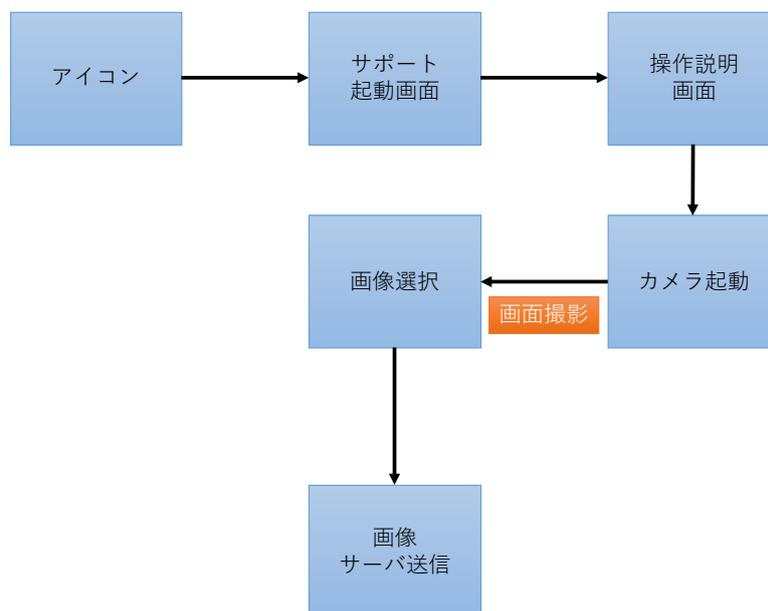


図 15 タブレットの処理の流れ

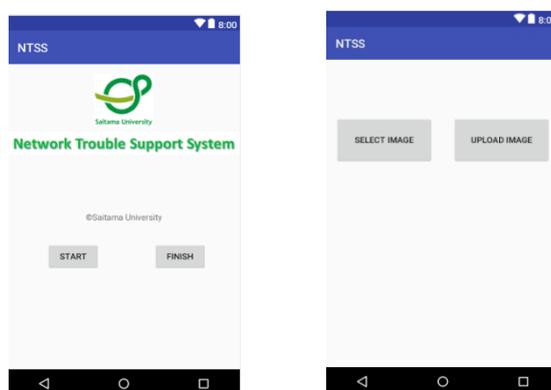


図 16 タブレットのアプリケーション動作例

Android タブレットでは、撮影した画像を選択し、HTTP でサーバへ送信する。サーバでは、Web サーバを起動し、Apache と PHP により POST でデータを取得する。

サーバでは、アップロード領域を監視しており、ファイルが更新されると、ファイルを確認して次の文字の解析処理を開始する。この情報をコミュニケーション端末へ送信する。

4.6 撮影した画像からの文字の読み取り

サーバでは、タブレットで撮影したパソコンの画面の情報から障害対応に結びつく情報を収集する。画像から文字に変換する必要があるため、OCR (Optical Character

Recognition) を用いる。OCR の実装には tesseract-ocr[16]を用いた。Python から利用するため、tesseract-ocr の Wrapper である pyocr[17]を用いた。

実装では、そのまま撮影した画像を OCR にかけてみると正しく文字を認識できなかった。そこで、一度撮影した画像を OpenCV により二値化し、ノイズを除去することにより、文字が認識可能となった。図 17 にタブレットで撮影した ipconfig の画面出力と OCR の読み取り結果を示す。

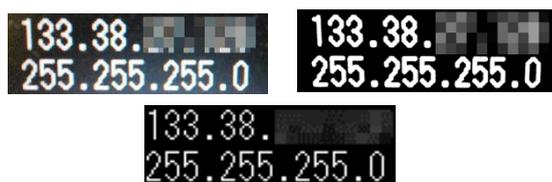


図 17 タブレットでの撮影画像と OCR の読み取り結果
(上左：実際の画面、上右：二値化处理、下：OCR 結果)
(※実際の IP アドレスのためモザイクをかけています)

システムでは簡単のため、以下のようなパターン分けで障害状況を判断する。(xxx は任意の数字となる)

- ① 133.38.xxx.xxx : 学内ネットワークに接続できている
- ② 0.0.0.0 : LAN ケーブルが接続されていない
- ③ 169.254.xxx.xxx : IP が取得できていない
- ④ 192.168.xxx.xxx : ルータもしくは家庭内の設定が残っている
- ⑤ 10.xxx.xxx.xxx : 認証ネットワークに接続できている
- ⑥ 表示なし : LAN インターフェースが認識されていない
- ⑦ 上記以外 : 例外として新規に対応策を検討する

①～⑤は、文字列に該当する情報が得られれば、それに対する適切な対処方法を利用者へ通知する。⑥や⑦は、新しく対応を行うため、現段階では管理者から連絡を行う。

5. 関連研究

対話については、Amazon Echo[18]や Google Home[19]などスマートスピーカーが発売され、活用が進んでいる。これらは、利用者の音声を認識し、サービスを提供する方法である。スマートスピーカーを利用してカスタマイズすることにより、柔軟なサービスが利用可能となるが、本論文のように通信が途絶した環境では利用できない。

本研究で利用した呼び出し方法は、スピーカーからの発話によるものである。しかし大きな音が出るなど他の利用者にとって騒音となる可能性がある。利用者の呼び出しに携帯電話で呼び出す方法[20]も研究されている。当該研究の方法は、現在ではプログラムから API

により実装する方法[21]が考えられる。利用者が不在であった場合にどうするかなどの検討が必要となる。

利用者環境では、利用者との対話により動作するロボット[22]が開発されている。当該の研究の目的は、問題の解決を行うことではなく、コミュニケーションを促進するためのものであり、本研究の目的と異なる。

本研究は、人が直面する問題解決にロボットと協調して取り組む点から、人とロボット間のインタラクションに焦点を当てたヒューマンロボットインタラクション[23]のひとつであると考えられる。本論文で試みた方法は、ネットワーク障害に限らずユーザサポートにおいて有効であると考えられる。

6. おわりに

本論文では、利用者のサポートに対するネットワーク管理者の負荷を軽減するため、移動ロボットによる利用者サポートインターフェースの提案し、試作システムの実装を行った。実際のネットワーク障害は、状況により障害状況が多岐に渡り、その解決策も複数存在する。本論文の執筆時点では、時間の関係で様々な状況を想定した実験が実施できていない。今後は、提案手法の課題を解消するとともに、システムを用いた実験を行い、システムの有効性を検証する予定である。

参考文献

- [1] 小川康一, 吉浦紀晃: 小型コンピュータと画像処理技術を活用したネットワーク機器監視手法の提案と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.3, pp.1026-1037(2018).
- [2] 小川康一, 吉浦紀晃: 移動ロボットと小型コンピュータを活用したネットワーク機器監視手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO), pp. 1354-1361 (2017).
- [3] Coexistence between Version 1, Version 2, and Version 3 of the Internet-standard Network Management Framework, The Internet Society, 2003.
- [4] IntelNUC(online), available from <<https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/products/boards-kits/nuc.html>> (accessed 2018-05-13).
- [5] 小川康一, 吉浦紀晃: 移動ロボットによる環境地図を用いたネットワーク機器監視情報の自動収集手法, 情報処理学会研究報告, インターネットと運用技術 (IOT), pp.1-7 (2017).
- [6] 小川康一, 吉浦紀晃, 利用者のネットワーク機器を監視する 移動ロボットの自動情報収集のための通信制御手法, 第10回インターネットと運用技術シンポジウム(IOTS2017)(2017).
- [7] OpenVPN(online), available from <<https://openvpn.net/>> (accessed 2018-05-13).
- [8] Raspberry Pi3 Touch-Screen Kit (online), available from <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-touch-display/>> (accessed 2018-05-13).
- [9] iRobot 社ホームページ (オンライン), 入手先 <<https://www.irobot-jp.com/>> (参照 2018-05-13).
- [10] 藤田正典, 青柳一之, 大橋修, 落合瑛史, 常盤嘉昭, 加藤由花: 仮想環境を用いた移動ロボット用遠隔操作システムの提案, 情報処理学会研究報告, マルチメディア通信と分散処理 (DPS), 2014-DPS-158(15), pp.1-6(2014).

- [11] M. Quigley, K. Conley, B. P. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, and A. Y. Ng.: ROS: an open-source Robot Operating System, in ICRA Workshop on Open Source Software(2009).
- [12] Tkinter(online), available from <http://https://docs.python.org/ja/3/library/tkinter.html/> (accessed 2018-05-13).
- [13] OpenJTalk(online), available from <http://open-jtalk.sp.nitech.ac.jp/> (accessed 2018-05-13).
- [14] MQTT(online), available from <http://mqtt.org/> (accessed 2018-05-13).
- [15] オムロンアミューズメント社 D3M (オンライン), 入手先 <https://www.fa.omron.co.jp/products/family/2686/> (参照 2018-05-13).
- [16] tesseract(online), available from <https://github.com/tesseract-ocr/tesseract/wiki> (accessed 2018-05-13).
- [17] pyocr(online), available from <https://github.com/openpaperwork/pyocr/> (accessed 2018-05-13).
- [18] Amazon Echo (online), available from https://www.amazon.co.jp/gp/product/B071ZF5KCM/ref=sv_devicesubnav_0/ (accessed 2018-05-13).
- [19] Google Home(online), available from https://store.google.com/product/google_home/ (accessed 2018-05-13).
- [20] 斎藤 康夫, 崔 龍雲, 伊与田 健敏, 渡辺 一弘, 久保田 譲: 携帯電話を用いたユーザによるロボット呼び出しとそれに付随した移動ロボットの自己位置認識, 電気学会論文誌. C, No.5 pp. 778-786 (2007).
- [21] Twilio(online), available from <https://twilio.kddi-web.com/> (accessed 2018-05-13).
- [22] 藤江 真也, 松山 洋一, 谷山 輝, 小林 哲則: 人同士のコミュニケーションに参加し活性化する会話ロボット, 電子情報通信学会論文誌. A, No.95(1), pp.37-45(2012).
- [23] Goodrich, M. A. and Schultz, A. C.:Human-Robot Interaction: A Survey., Foundations and Trends in Human-Computer Interaction, Vol. 1, No. 3, pp.203-275(2007).

※本論文は、情報処理学会「マルチメディア、分散、協調とモバイル DICOMO2018 シンポジウム」での発表内容に加筆、修正を加えたものです。

情報基盤システム（2019年3月～）の調達の概要

齋藤 広宣

1. はじめに

埼玉大学において、新情報基盤システムが2019年（平成31年）3月1日にカットオーバーし、稼動を開始した。本稿では、このシステム更新の概要について記述する。

今回の情報基盤システム更新の骨子は、以下の通りである。

- ネットワーク機器（基幹スイッチ、エッジスイッチ等）の調達を分離
耐用年数の長いネットワーク機器を前システムから継続使用することとし、更新対象から除外した。
- 電子メールシステムをOffice365にアウトソース
前システムではオンプレミスで構築していたメールシステムを、クラウド(Office365)に移行。調達費用の圧縮と、可用性の向上を目指した。
- 仮想サーバシステムをHCI (Hyper Converged Infrastructure) で構築
前システムでは仮想サーバシステムをサーバシステム+SANで構築していたが、今回はHCIを採用した。
- マイクロソフトの包括ライセンス契約を利用して、教育システム端末PCを整備
本学が別途契約しているマイクロソフトの包括ライセンスを活用し、全学情報教育システムの構築を行った。
- 統一認証アカウントデータベースの構成変更
埼玉大学が学認に参加したことに伴い、学認の基準に従うよう属性の追加、変更を行った。
- eduroam 導入に必要なサーバ等の構築
eduroam JP への参加を予定しているため、RADIUS proxyサーバ等を整備した。

2. 情報基盤システムの各要素

本項では、新情報基盤システムのうち情報メディア基盤センターに関する部分をいくつかピックアップし、概要と所感を簡単に述べることにする。

2.1 仮想サーバシステム

仮想サーバシステムは、情報基盤システムで整備する学内の基幹サーバ群を収容する。

今回は仮想サーバシステムを構成するハードウェアにHCIを採用した。HCIは、通常よく見られるラックマウントサーバを複数組み合わせることで構成され、前システムのようにストレージをSANで構成するのに比べ構築負荷の軽減が期待される。一方今回採用したHCIではその動作制御のため、サーバ筐体ごとに Controller VM が仮想インスタンスとし

で稼動しており、これが相当量のCPU及びメモリ資源を占有している。したがってCPU及びメモリの資源設計は、本来収容したいサーバに必要な資源と比べてかなり余裕を持たせる必要が生じている。

2.2 認証システム

本学の教職員及び学生に付与している統一認証アカウントの管理システムを、学内のサーバにて構築した。Office365へのアカウント連携は Azure AD Connect で行っており、カットオーバー以前から連携を行っていた関係から本学職員の手で設定を行っている。

また学認IdPサーバとeduroam用の RADIUS proxy サーバも、ここに含まれる。学認IdPサーバは、カットオーバー以前より稼動していたサーバから本学職員の手で移行させた。

なお認証システムをクラウド上で構築する選択肢も検討したが、利用者が学内に持ち込む端末のネットワーク接続認証を行うことなどから、オンプレミスに置くこととした。なおオンプレミスの認証システムが停止した場合でも、Office365の認証は使用可能であり最低限メールは使用し続けることができる。

2.3 全学情報教育システム

全学情報教育システムでは、前システムと同様にネットブートによるパソコン教室環境を整備している。OS (Windows) とOfficeソフトウェアは、埼玉大学の包括ライセンス契約に基づくボリュームライセンスを利用している。

3. 次期システム更新におけるクラウドの利用

大学の基幹システムをクラウドで構築する傾向が広まりつつある中、『政府情報システムにおけるクラウドサービスの利用に係る基本方針』において「クラウド・バイ・デフォルト原則」の方針が示され、今回は本学においてもクラウド化を検討することになるであろう。そのためには、以下の点について調整を済ませておく必要があると考える。

- クラウドで個人情報を扱うことを含めた、情報セキュリティポリシーの改正
- 大学、構築業者、クラウド事業者の間の責任分解点
- クラウド利用を前提とした調達仕様書の記述の研究
- クラウドサービス費用の予算及び精算に関する整理
- オンプレミスサーバが残るかどうかが、残る場合にクラウドの併用にメリットがあるか

4. 余談

題名や本文での西暦表示に違和感を持つかもしれないが、今回のシステム調達において仕様書には西暦表示を用いた。これは、2019年に改元されることが決まっていたこと、新元号が公表されていなかったこと、そのため契約終期(2024年2月29日)を和暦で表示することがはばかられたことから、文書全体を西暦表示で統一したためである。今回のような西暦表示が、今後も許容されていくのであろうか。