

多様なニーズに応える PASTA のシリーズ化

遠山 毅^{1,*1} 松下 綾香^{1,*2} 小熊 寿^{1,*3} 松本 勉^{2,†}

概要: 我々は過去に自動車向けのポータブルなセキュリティテストベッドである PASTA を開発し公開した。PASTA はオープンなプラットフォームとしてセキュリティ技術の研究開発や、セキュリティ技術者の教育に用いられることを目的としている。PASTA を公開後、様々なニーズがあることが明らかとなったため、PASTA をシリーズ化することとした。本稿では、この PASTA シリーズに含まれる新モデルをふたつ紹介する。新モデルのひとつは、これまでの PASTA で装備していた物理的な操作部分をタッチパネルにすることで、製作コストを削減しつつこれまでのモデルと同等の機能を有するものである。また、もうひとつの新モデルでは、汎用 PC と接続し、その PC に自動車のシミュレータ機能をもたせた。これにより、ユーザ自身が持つコンピュータで自動車のシミュレーションを行うことから PASTA 自体は小型化し、製造コストを大幅に下げることができた。

キーワード: 自動車セキュリティ, 車載ネットワーク, テストベッド, ECU, 教育

Series of PASTAs to Meet Diverse Needs

Tsuyoshi Toyama^{1,*1} Ayaka Matsushita^{1,*2} Hisashi Oguma^{1,*3}
Tutomu Matsumoto^{2,†}

Abstract: We developed and released PASTA, a portable security testbed for automobiles, intended to be used as an open platform for research and development of vehicular security technologies and education of security engineers. After PASTA was released, it became clear that there were various needs, so we decided to make PASTA a series. In this paper, we introduce two new models included in the PASTA series. One of the latest models has the same functions as the previous models while reducing the production cost using a touch panel instead of the physical operation part equipped in the first PASTA. The other new model is connected to a general-purpose PC, and the PC has an automobile simulator function. This allows the user's computer to simulate the vehicle, making PASTA itself smaller and significantly reducing the manufacturing cost.

Keywords: Vehicular Security, In-Vehicle Network, Testbed, ECU, Education

1. はじめに

自動車における自動運転機能の進歩、コネクテッド技術の進歩はめざましく、それに伴い、セキュリティ対策の重要性はますます重視されている。自動車のセキュリティは ISO/SAE21434 により規格化され、将来的には自動車の開発プロセス中にサイバーセキュリティの対策が組込まれることが必須となる。

自動車の内部では電子制御ユニットである ECU(Electronic Control Unit) とよばれる装置が多数装備されている。様々な機能を持つ ECU は CAN(Control Area Network)に代表される車載向けの通信プロトコルを利用して相互に通信し、快適かつ安全なドライビングを実現している。その中で、ECU のハードウェアデザインや、ECU を動作させるためのファームウェアなどの情報は一般に明らかにされていない。また、自動車の内部でどのような通信が行われているかは完全には明らかにされない。これは、自動車を開発している企業の知的財産を守るために行われ

ていることである。しかし、仕様が非公開となることで、自動車メーカーは独自にセキュリティ対策を施すことが一般的であり、CAN 通信の傍受や攻撃メッセージの挿入に代表される多くの攻撃方法が提案されてきた。さらに、仕様が非公開であることで、第三者の企業や研究所、大学などで自動車セキュリティの対策技術の研究開発を行う場合には情報が不十分である場合が多々あり、自動車メーカーとの協力なしには新たなセキュリティ技術の研究をすることが難しい状況があった。

我々は過去に自動車向けのセキュリティ技術の研究開発や評価、教育を目的とし、車両向けのセキュリティテストベッドである PASTA (Portable Automotive Security Testbed with Adaptability) を開発・公開した[1][2]。PASTA は実際の車両の内部ネットワーク構成を参考に開発しており、内部で行われている ECU 同士の CAN 通信の仕様についても明らかにしている。またユーザによる ECU のファームウェアのリプログラミングも可能である。PASTA の仕様はオープンソース化されており、誰もが ECU の回路設計や

1 トヨタ自動車株式会社
Toyota Motor Corporation
2 横浜国立大学
Yokohama National University

*1 tsu-toyama@toyota-tokyo.tech
*2 aya-matsushita@toyota-tokyo.tech
*3 oguma@toyota-tokyo.tech
† tsutomu@ynu.ac.jp

ファームウェアのソースコードを入手可能である[3]。また、ユーザが入手して利用できるよう、市販化されている[4]。市販化の際に PASTA1.0 という商品名で販売されているため、本稿では以降、新しく開発した PASTA シリーズの新モデルと明確に区別をするため、従来のモデルを PASTA1.0 と表記する。

PASTA1.0 の公開・販売後、様々な意見が寄せられ、またユーザとディスカッションをする機会が多く得られた。これにより、PASTA1.0 だけではカバーできない多様なニーズが明らかとなった。本稿では、PASTA1.0 発表後に明らかとなったニーズに合わせ、新たに開発したセキュリティテストベッドを紹介する。新たなテストベッドは PASTA のシリーズの一部として追加し、展開することを予定している。

2. 自動車のセキュリティ

2.1 自動車セキュリティと評価プラットフォーム

2010 年に Kocher らにより自動車のセキュリティの脅威が示された[5]。それ以降自動車のセキュリティの問題点は数多く示され、また多くの対策も提案されてきた。その中で我々は、セキュリティ技術の開発及び評価に着目し、以下のような課題の解決を目的として PASTA の開発を行っている。

1. 自動車のサイバーセキュリティ技術の研究は自動車会社や関連企業との連携がないと難しい
2. 比較的容易に入手可能な共通のサイバーセキュリティ評価プラットフォームが存在しない
3. 自動車セキュリティの専門家が不足している

1 つめの課題は、自動車の内部設計の詳細やファームウェアについては一般には明らかにされないことである。自動車会社は多くの知的財産を保有し、自動車の内部の設計に利用している。サイバーセキュリティの脅威から自動車を守る技術を開発するためには、自動車のハードウェアとソフトウェアそれぞれを十分に理解している必要がある。そのため、車両に適用可能かつ効果的なセキュリティ技術の開発ができるのは、自動車会社や、自動車の開発に携わっている関連企業と協力する者のみに限られ、第三者の企業や大学、研究機関などが独自に開発することは、一般には難しいとされている。

2 つめの課題として、サイバーセキュリティ評価のための共通のプラットフォームが存在しなかったことが挙げられる。提案されている自動車向けのセキュリティ技術は、その提案者独自の環境により有効性が評価されていることが多い。そのため、第三者がその有効性を検証しようとする際には、同様の評価環境を再現する必要がある。

3 つめの課題は、自動車セキュリティの評価を行うための専門家が不足していることである。自動車に対するサイ

バーセキュリティの必要性は急激に増しており、自動車とサイバーセキュリティの両方を熟知した専門家およびその養成に必要な教材が不足している。自動車の詳細な仕様を理解した上でサイバーセキュリティ学習を実施することが望ましい一方で、上記 2 つの課題と同様、第三者が学習に必要な環境を準備することは困難である。

2.2 セキュリティテストベッド PASTA

2.1 節で説明した課題を解決する目的として、自動車向け技術のセキュリティ評価プラットフォームである PASTA1.0 を開発した。本節では PASTA1.0 について紹介する。

PASTA1.0 は、仕様が公開された、ホワイトボックスな ECU を主要コンポーネントとして構成されている。この ECU は、ユーザが自由にファームウェアを開発、適用でき、実装されたセキュリティ技術の評価が可能である。つまり、PASTA1.0 はオープンな技術に基づいているため、自動車メーカーやその関連企業と秘密保持契約を取り交わすことなく自動車セキュリティの評価や研究が可能となる。さらに、PASTA1.0 内には、ECU によりコントロールされる、オリジナルの簡易的な自動車シミュレータを搭載した。PASTA 内の ECU はプログラマブルであるため、簡易な実装によりさまざまな車載通信を実現し、評価できる。

PASTA1.0 は、アタッシュケース内に簡易シミュレータおよび ECU のネットワークが収められており、単体で自動車のセキュリティの評価プラットフォームとして利用できる。アタッシュケースは高さ 35.5cm、幅 47cm、奥行き 15cm、重量は約 8kg であり、アタッシュケースを開いた上で使用する。図 2.1 に PASTA1.0 の外観を示す。



図 2.1 PASTA1.0 の外観

図 2.2 に、PASTA1.0 の内部構成を示す。図の下部がアタッシュケースの下部、図の上部がアタッシュケースの上部に該当する。アタッシュケースの下部には、デフォルトの状態では 4 つの ECU が具備されている。1 つのセントラルゲートウェイ (CGW) を含む 4 つの ECU が存在する。CGW の役割を持つ ECU は、CAN を介して OBD-II ポートを提供している。加えて、CGW が提供する 3 つの CAN ポートに、残りの ECU が接続され、各ドメインの役割を担っている。3 つのドメインは、それぞれパワートレイン系、ボディ系、シャーシ系のドメインであり、CGW を介して相互に CAN メッセージを通信する。各ドメインには、追加の ECU を接続できる拡張ハブとして、Junction Box がひとつずつ配置されている。

アタッシュケース上部は、ステアリングやアクセル、ブレーキ、ワイパー、ドアロックなど物理的な操作部と、パワートレイン系、ボディ系、シャーシ系の 3 枚のパネルからなる簡易的なシミュレータ部から成り立っている。ECU は CAN メッセージで共有した車両の情報をシリアル通信でシミュレータに送り、車両の状態が液晶パネルに表示される。液晶パネルに車両の状態が表示されることで、サイバーアタックが実行された場合の車両の状態を目視で確認できる。

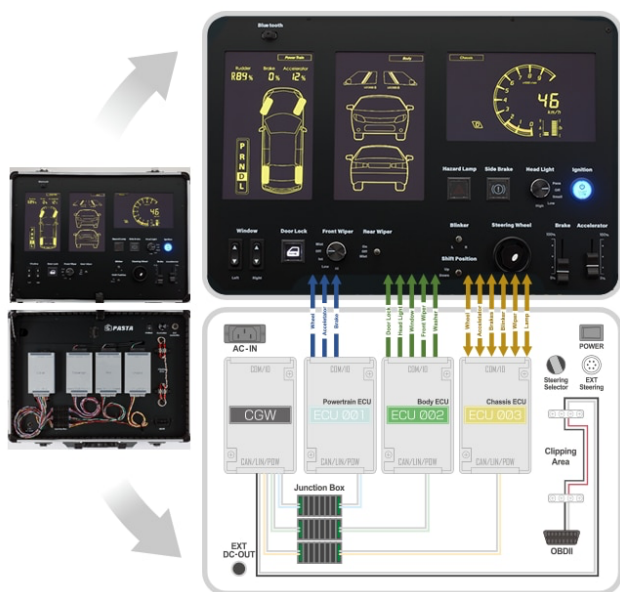


図 2.2 PASTA の内部構成

3. PASTA に対するニーズ

3.1 低価格なモデルの検討

PASTA1.0 は現在市販化されている[4]。その際購入者から、普及のためにも現在より低価格のモデルがあればよいという意見が寄せられた。PASTA1.0 は操作性を重視し、各操作部を物理的に実現していた。その結果、部品点数に比例して製造コストが高くなってしまった。そこで新たな

PASTA の開発方針として、物理的な操作部品を減らすことで製造コストの低減を狙い、車両のシミュレータと操作部をタッチパネル式のデバイスや汎用コンピュータを用いて実現することとした。

3.2 小型・軽量化

PASTA1.0 はアタッシュケースに収まっていることから持ち運ぶことが容易であるが、さらなる小型化・軽量化を求める声も多くあった。これは特に、PASTA1.0 の Junction Box に接続することで利用可能な外部のセキュリティ機器のデモンストレーションに利用する場合に、PASTA1.0 の操作性や基板の本物らしさではなく、可搬性が重視される場合が多いと考えられるためである。

より高い可搬性を実現するためには主に 2 つの方法が考えられる。まず、より小型の ECU を開発することで、テストベッドのフットプリントを小さくすることである。ただし、このとき、ECU を小型化することで、実際の車両に用いられる ECU の基板とは デザインが異なってくることに注意する必要がある。また、シミュレータ部に汎用 PC を用いることで、ユーザーが手持ちの PC を用いることができることから PASTA 自体のコストを下げるができる。さらに、タッチ操作が可能な PC を利用した場合には組込みシステム上で実現するタッチパネルと同等の操作性が期待できる。

3.3 ニーズに即した機能の取捨選択

PASTA1.0 は、CGW を含めて 4 つの ECU により自動車の車両内部ネットワークを模擬している。しかし、ユーザーによっては必ずしも多くの ECU は必要なく、ECU 同士の CAN 通信が実現できていれば機能として充分であるという場合も考えられる。例えば各 ECU に適用するようなセキュリティ技術を評価する場合、セキュリティ技術を適用した ECU と、外部から Junction Box を経由して接続するタイプの機器を接続することで擬似的な攻撃を実施し、セキュリティ評価を行うことができる。

上記のような機能を満たすテストベッドの場合、最低 2 つの相互に通信を行う ECU と、それらの通信を観測したり、外部機器を取り付けたりするための Junction Box が装備されていればよいと考えられる。

4. 新しい PASTA のモデル

3 節で述べた課題を解決するため、以下の方針で新たなモデルを開発した。(1)機能の取捨選択による小型軽量化、(2)汎用品の利活用。(1)と(2)を実現するために、新たに 2 つのモデルを開発した。本節ではこの 2 つのモデルについて説明する。

4.1 PASTAmimi

PASTA1.0 と同等の機能を保ちつつ小型・軽量化の実現を目的とし、新たなテストベッドである PASTAmimi を開発した。本節では PASTAmimi の構成とその特徴について説明する。

PASTAmimi の外観を図 4.1 に示す。PASTAmimi は、PASTA1.0 と同様、アタッチケースに納められている。収納時のアタッチケースのサイズは、横幅 28cm、高さ 23cm、厚さ 9.5cm であり、重量は約 2.6kg と、約 8kg あった PASTA のおおよそ 3 分の 1 程度の重量となっている。

図 4.2 に、PASTAmimi の内部構成を示す。図の下部がアタッチケースの下部に、図の上部がアタッチケースの上部に該当する。

アタッチケース上部の車両のシミュレータは、タッチパネルによる表示と操作を採用することで物理的な操作部をできるだけなくした。これにより部品点数を削減し、製造コストを低減できる。

アタッチケースの下部にある ECU で構成されるネットワークは、CGW となる ECU1 つと、PASTAmimi のために新たに開発した小型の液晶付き ECU である 3 つの microECU の合計 4 つの ECU により構成される。CGW の機能を担う ECU は、PASTA1.0 で用いられている ECU と同じ基板を用いている。



図 4.1 PASTAmimi の外観

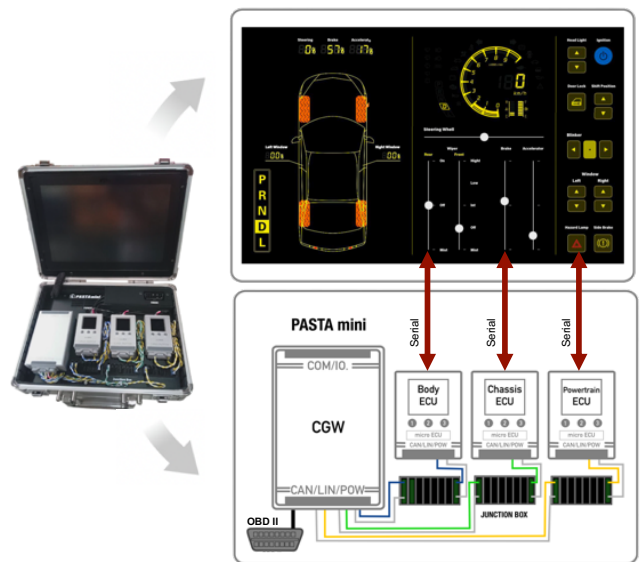


図 4.2 PASTAmimi の内部構成

PASTAmimi を構成するために新たに開発した ECU である microECU について説明する。図 4.3 に microECU の外観、図 4.4 に microECU の基板を示す。microECU は、縦 7.6cm、横幅 4.6cm、厚み 26.5cm の筐体に収まっている。

microECU は ECU の小型化により、実車両に搭載されている ECU とは異なる特徴を持つことから、試験的にテストベッドとして利用する際の拡張性を考え、240×240 ドットの TFT 液晶ディスプレイと、3つのスイッチを装備した。



図 4.3 microECU の外観

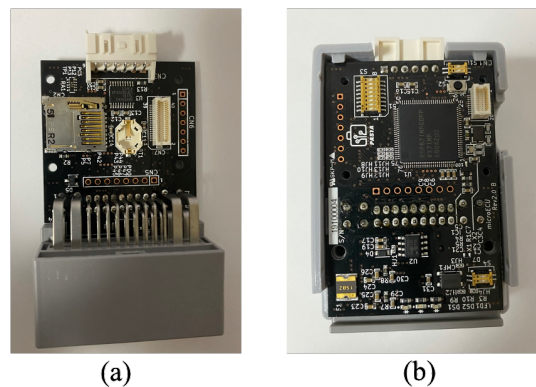


図 4.4 microECU の基板

液晶ディスプレイの表示は、microECU に挿入可能な microSD カードの内部のデータを書き換えることでカスタマイズすることが可能である。例えば microECU の内部状態を示したり、新たにファームウェアを開発した上で、PASTAmini に対して新たに機能を拡張したりすることができる。この拡張した機能を PASTAmini のシミュレータ上のコントロール部で操作することは、コントロール部のソフトウェアを改修するよう開発する必要があり、大きな手間となると考えられることから、microECU 自体に物理的なスイッチを3つ搭載することとした。これにより、標準のシミュレータにはない機能を容易に拡張することができる。例として、ドアミラーの開閉や、エアコンの動作など、スイッチで動作するような機能を実現できる。

4.2 PASTA for Education

車両のシミュレータの実現に汎用 PC を利用し、また ECU の数を最小限に抑えることで小型軽量化および製造コストを低減した PASTA for Education について紹介する。

PASTA for Education の本体は、2つの ECU と 2つの Junction Box によって構成される。デフォルトの状態では、ECU のファームウェアはこれまで開発したものをベースとし、片方の ECU にはボディー系とシャーシ系両方の機能を持つ。PASTA for Education の外観を図 4.5 に示す。

PASTA for Education は車両のシミュレータおよび操作部を、汎用 PC を用いて実現する方針で設計・開発を行った。我々は PASTA for Education と接続することで動作する、自動車のシミュレータとして、PASTA1.0 のデザインを踏襲した汎用 PC で動作するソフトウェアを新たに開発しこれを PASTAconsole と名づけた。PASTAconsole の画面を図 4.6 に示す。PASTAconsole は Windows 上で動作し、GUI で操作を行う。Windows の液晶画面にタッチパネル機能が搭載されている場合には PASTAmini と同様、タッチで操作することができる。

図 4.7 に PASTA for Education の構成図を示す。PASTA for Education には micro USB 端子と USB-C 端子が具備されている。USB-C 端子は PASTA for Education に電力を供給するために装備されている。PASTA for Education を使用する際には、まず USB-C 端子により電源を供給した上で、PASTAconsole をインストールした PC と USB で接続する。USB は 2つの ECU とシリアル通信で接続されており、PASTAconsole 上での操作を ECU 側に伝え、ECU はその操作情報を CAN メッセージで共有する。



図 4.5 PASTA for Education の外観

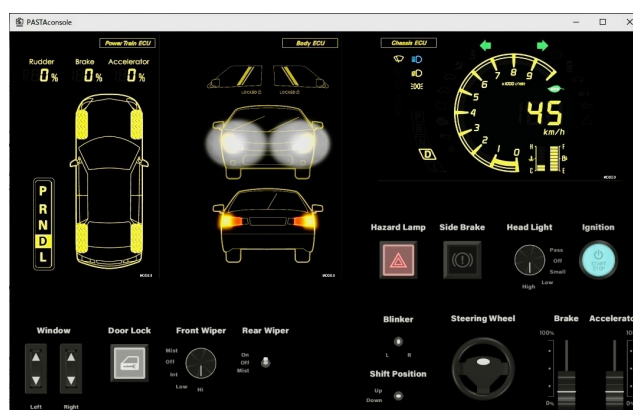


図 4.6 PASTAconsole の画面

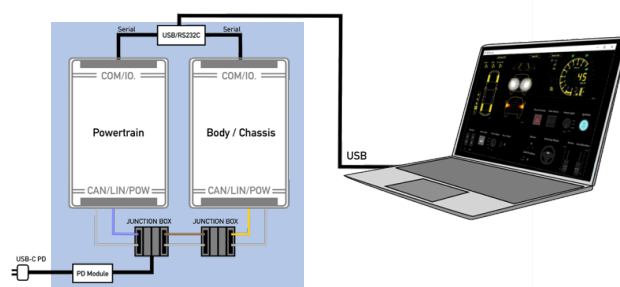


図 4.7 PASTA for Education の接続構成図

PASTA for Education は ECU の数を削減してシンプルな構成で実現されている。デフォルトの状態では CGW や OBD-II ポートが具備されていないため、ユースケースは限られるものの、その他には他の PASTA と同等のセキュリティ評価や、自動車セキュリティの教育用途に用いることができると考えられる。PASTA for Education は PASTA シリーズの中で最も製造コストが低いことから、販売価格も低く抑えることができるだろう。これにより、研究者や開発者が一人一台のテストベッドを専有しやすくなり、より効率的な研究開発や学習の環境の構築ができると期待できる。

5. まとめ

本稿では過去に我々が公開したセキュリティテストベッド PASTA について、公開後に明らかとなったニーズを満たすような新たな PASTA を紹介した。

過去に発表した PASTA である PASTA1.0 は、部品点数が多いことで製造コストが高いことが指摘されていた。また、より小型で軽量化モデルも期待されていた。本稿では、PASTA1.0 と比較して製造コストの低減と小型軽量化を実現するため、新たに開発した 2 つのモデル、PASTAmini と PASTA for Education を紹介した。

PASTAmini では、アタッチケース上部のシミュレータ部分の物理的な操作部分をタッチパネルとすることで部品点数を削減し、製造コストの低減を実現した。また、新たに開発した液晶と 3 つの操作ボタンがついた小型の ECU である microECU を用いることで、小型軽量化も実現した。ただし、シミュレータ部のタッチパネルにより PASTA1.0 と同等の操作感が得られるかについては今後検討・評価をしていく必要がある。

PASTA for Education の本体は ECU2 台のみで構成され、内部では最低限の CAN 通信を行えるようにした。車両のシミュレータは、PASTAconsole と名づけた、PASTA1.0 のデザインを踏襲した汎用 PC で動作するソフトウェアにより実現した。PASTA for Education と、PASTAconsole をインストールした汎用 PC を USB により接続することで、CGW や OBD-II ポートなどはないものの、研究開発や学習に充分利用可能であると期待される。PASTA for Education は、PASTA1.0 や PASTAmini などの PASTA シリーズの中で製造コストが最も低い。これにより、研究者や開発者が一人一台のテストベッドを専有しやすくなり、より効率的な自動車のサイバーセキュリティの研究開発や評価、学習が期待できる。

参考文献

- [1] 遠山 毅, 小熊 寿, 松本 勉 “ポータブルで拡張可能なセキュリティテストベッド・PASTA の開発,” 電子情報通信学会, ハードウェアセキュリティ研究会, Jun. 2017.
- [2] Tsuyoshi Toyama, Takuya Yoshida, Hisashi Oguma, Tsutomu Matsumoto “PASTA: Portable Automotive Security Testbed with Adaptability,” BlackHat Euro2018, Dec. 2018.
- [3] github <https://github.com/pasta-auto>
- [4] Chip1Stop <https://www.chip1stop.com/sp/products/toyota-pasta>
- [5] K. Koscher, A. Czeskis, F. Roesner, S. Patel, T. Kohno, S. Checkoway, D. McCoy, B. Kantor, D. Anderson, H. Shacham, S. Savage, “Experimental Security Analysis of a Modern Automobile,” IEEE Symposium on Security and Privacy, 2010.