

可搬性と機密性を両立した占有型情報環境の設計と評価

高名 典雅^{1,a)} 柏崎 礼生^{2,b)}

概要: COVID-19によりインターネットを利用したテレビ会議やビデオ通話の利用が急増した。機密性の高い情報を扱うテレビ会議や、プライバシーを確保したいビデオ通話を実現しようとすると空間などの物理的な制約条件のため自由な利用が困難である。本稿では安価で可搬性があり、高い機密性を実現することのできる占有型情報環境の提案を行う。筆者らはNICTの若手セキュリティイノベーター育成プログラム「SecHack365」においてセキュアな入出力装置を開発した。これを改良し、また伝統的な日本文化との融合することにより、十分な稼働時間、身体に負担をかけない軽量、および財布に負担をかけない価格を実現できることを定量的に評価した。

キーワード: 可搬性, 機密性, セキュリティ, プライバシー, テレビ会議システム, ビデオ通話

Design and evaluation of a dedicated information environment with both portability and confidentiality

Abstract: COVID-19 has led to a rapid increase in the use of teleconference system and video calls over the Internet. It is difficult to freely use teleconference system that deals with highly confidential information or video calls that try to ensure privacy due to physical constraints such as space. In this paper, authors propose an dedicated information environment that is portable and can achieve high confidentiality. The authors improved the secure input/output device developed in the National Institute of Information and Communications (NICT) “SecHack365” program for cultivating young security innovators, and combined it with traditional Japanese culture. The proposed environment can achieve sufficient uptime, light weight that does not strain the body, and a price that does not strain the wallet.

Keywords: portability, confidentiality, security, privacy, teleconference system, video call

1. 背景と目的

COVID-19を背景として、2020年の1年間でビデオ会議システムの利用は大幅に増大した。たとえばビデオ会議サービスを提供するZoom Video Communications社は、10名以上の構成員からなる顧客数が前年度比で485%増大したと発表している^{*1}。実際の会議室を用いた会議と同様

に、ビデオ会議では機密性の高い情報のやりとりが行われることがある。オフィスで利用する場合であれば、ビデオ会議の内容を覗き見られることによる情報漏洩リスクを「それなりに」制御することができた。しかしノマドワーカーと呼ばれる人々が公共スペースで仕事をするようになった10年ほど前から指摘されていたように、スターバックスのような公共スペースはもちろん、個人の自宅ですら必ずしもこの制御を高いレベルで実現できるとは限らない。また個人のスケジュールの都合上、タスクとタスクの合間の移動時間中に機密性の高い情報を取り扱う作業が必要となることもある。

多様な場所で機密性の高い情報を扱う機会が増大したことを受けて、個人のスペースを確保することのできるWeWorkのようなシェアオフィスが2011年から普及し始

¹ 木更津工業高等専門学校
National Institute of Technology, Kisarazu College,
Kisarazu, Chiba 292-0041, Japan

² 国立情報学研究所
National Institute of Informatics, Chiyoda, Tokyo 101-8430,
Japan

^{a)} j17423@kisarazu.kosen-ac.jp

^{b)} reo_kashiwazaki@nii.ac.jp

^{*1} Zoom Reports Results for Third Quarter Fiscal Year 2021
<https://investors.zoom.us/news-releases/news-release-details/zoom-reports-results-third-quarter-fiscal-year-2021/>

めた*2。一方で JR 東日本は駅構内やホテルに設置されるキューブ型のシェアオフィスのサービスを展開している*3。富士ゼロックスは同様のサービスを展開するだけでなく、キューブ型シェアオフィスの販売を展開している*4。しかしこのような設備は設置された場所から容易に移動させることはできない。また、経済的合理性の観点から、人通りの多い場所にこれらのシェアオフィスは配置されるが、こういった場所では人流量に比例してこのようなオフィスの需要がより大きいため、必ずしも個人のスケジュールに適合して利用できるわけではない。特に COVID-19 の状況下において、これらの密閉環境の利用をためらう人が一定数いると考えられる。3密を避けるためにも屋外で、あるいは静止してではなく移動中にも高いセキュリティレベルでビデオ会議を行うことは、COVID-19 の状況下においても、また COVID-19 の終息後においても要求されることであると考えられる。

移動中のビデオ会議の利用にはいくつかの問題点が挙げられる。まず移動中にビデオ会議をするという背景を鑑みれば、そのユーザーはビデオ会議に必要なデバイス以外にも荷物を運搬している蓋然性が高い。その運搬で片手が使われ、ビデオ会議システムの操作にもう片方の手しか使えないという利用シーンが現実的な状況として考えられる。しかしながら既存のビデオ会議システムを利用するデバイスであるノート PC やタブレット端末は、椅子に座りテーブルに端末を置くスタイルであれば片手での操作も可能だが、移動中に片手でこれらのデバイスの操作をすることは困難である。また、それなりの重量があるため腱鞘炎になる危険性も無視することはできない。また、移動中の視線の問題も考慮しなければならない。ノート PC やタブレット端末を利用するときは視線が下向きになるため、そのまま歩行していると他の歩行者と衝突してしまう危険性がある。移動中に利用することができるということは、とりもなおさず安定した電源供給や広帯域のインターネット回線が提供されないということをも意味する。すなわちバッテリーによる給電、回線は日本国内では広範に普及したといえることのできる 4G 回線で実現されなければいけない。

これらの背景から、アフターコロナの時代において、ビジネスパーソンに限らず多様な人が、時間や場所に制約されることなく容易かつ安全に利用できるテレビ会議システム・ビデオ通話システムを要求すること考えられる。また、その利用において扱われる情報の機密性の高低に関わらず、高い機密性を保証することも求められる。多様な人

が利用することを鑑み、この環境はリーズナブルな価格で構築可能でなければならず、しかしその環境の外見は、たとえばヘッドマウントディスプレイを装着した上で背中にゲーミング PC を担ぐような、あまりに風俗から逸脱したものであってはならない。そこで著者らは、可搬性と機密性の双方を両立し、個人が一定の空間を占有する情報環境を提案する。本稿ではその設計と評価について述べる。

2. 関連研究と文化

2.1 Secure I/O Unit

われわれが日常的に利用している入力装置や出力装置は、入力も出力も盗み見られる脆弱性が指摘されつつも広範に利用されている。入力装置は、ハードウェアキーボードでもソフトウェアキーボード(フリック入力を含む)でもその形の多様性は無限ではなく、有限小数のパートンに留まる。そのため指の場所を画像解析することからその入力内容を読み取ることができることが指摘されている。出力装置は人間の目と一定の距離を置いた場所に設置されるため、後方から盗み見をすることが可能である。これは悪意ある攻撃者に対して脆弱であるというだけでなく、悪意のない第三者を攻撃者としてしまう問題を同時に内包している。

情報通信研究機構(National Institute of Information and Communications Technology) ナショナルサイバートレーニングセンターが開講するプログラムとして、若手セキュリティイノベーター育成プログラム「SecHack365」がある*5。SecHack365 は、25 歳以下の学生や社会人から公募選抜する 40 名程度の受講生を対象に、サイバーセキュリティに関するソフトウェア開発や研究、実験、発表を一年間継続してモノづくりをする機会を提供する長期ハッカソンである。著者らはこの SecHack365 においてショルダーハック耐性の高い入出力装置の研究開発を行った*6。この開発はセキュアな入力装置とセキュアな出力装置の開発からなる。セキュアな入力装置は静電容量式の一次元タッチセンサをグローブに配置し、このセンサに触れた指のパターンによって入力内容を決定するデバイスである(図 1)。このような方式を採用するため、指をポケットの中に入れるなどしても入力を行うことができる。また出力装置においては目と出力表示装置の距離を短縮し、かつ透過率が高く反射率の低い素材からの反射を通した表示とすることで、周囲からの覗き見を防止することを実現している。反射方式を採用することにより非表示時には視界を遮ることなく前方の視認性を確保することも実現した(図 2)。こ

*2 WeWork — Office space and workspace solutions
<https://www.wework.com/>

*3 駅ナカ×シェアオフィス - STATION WORK (ステーションワーク)
<https://www.stationwork.jp/>

*4 CocoDesk : 富士ゼロックス
<https://www.fujixerox.co.jp/solution/menu/cocodesk>

*5 目指せ!セキュリティイノベーター! — SecHack365
<https://sechack365.nict.go.jp/>

*6 高名典雅: セキュアな入出力装置の開発 (2019 年度 SecHack365 作品)
https://sechack365.nict.go.jp/achievement/2019/pdf/2019_27.pdf

これらの成果物は Secure I/O Unit と名付けられ、オープンソースハードウェアとして作成に必要な部品や作成方法が公開されている*7。

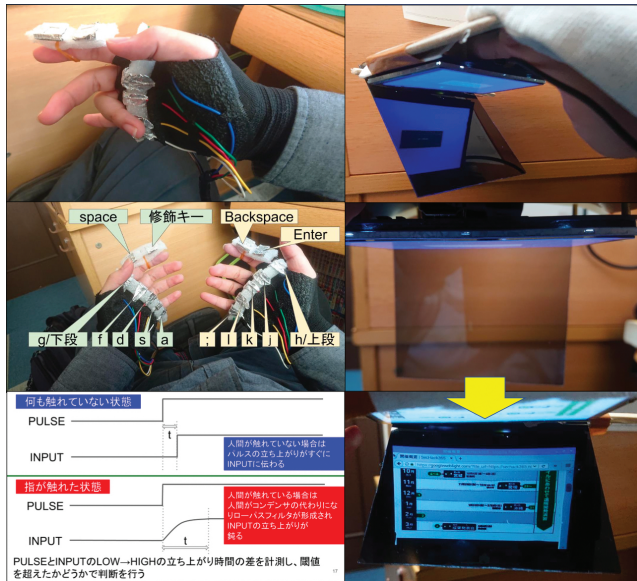


図 1 Secure I/O Unit の入力装置と出力装置の概略図



図 2 Secure I/O Unit を装着した著者 (2020 年 2 月撮影)

2.2 壺衣装と市女笠

日本の平安時代においては女性が外出する際、あるいは旅に出る場合に壺衣装と呼ばれる着装を行った。ブリタニカ国際大百科事典によれば「衣や小袖を着た上から別の衣

*7 Alignof/Secure-I-O-Unit: セキュアな I/O Unit の開発と作り方の紹介
https://github.com/Alignof/Secure_I-0_Unit

や小袖を頭上にかぶって顔をあらわにせず、裾を引上げて腰のあたりに紐で結んだ装い」とある*8。特に市女笠 (いちめがさ) をかぶった場合には笠の周囲に苧麻 (からむし) の衣を垂らす。図 3 は壺衣装の概略図であり、図中番号の箇所の呼び名は以下の通りである。

- (1) 巾子 (こじ)
- (2) 苧麻のたれ衣
- (3) 飾り紐
- (4) 桂 (うちき)
- (5) 単 (ひとえ)
- (6) 懸帯 (かけおび, 掛帯とも)
- (7) 緒太の草履
- (8) 懸守 (かけまもり)

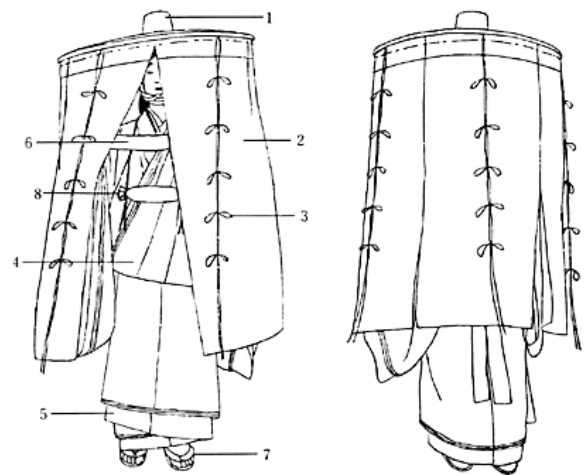


図 3 市女笠を含む壺装束の概略図*9

日本古来からある通俗的な衣装であり、市中でこのような服装をしていても一切不審さがない。また巾子は頭頂部分にあり体の中心線の直上にあるため、この上に重量のある計算機などを積載しても肉体に対する負担が少ない。これは頭上運搬と呼ばれる手法で、頭に載せるものの重量が体重の 20% までであれば、十分に修練を積んだ人は通常の歩行で消費する以上のエネルギーを消費せずに運搬できるとされる [1]。

3. 提案手法

著者は壺装束をベースにした可搬性と機密性を両立した占有型情報環境を提案する。この環境は手軽に手に入る電子部品、マイクロコンピュータ、シングルボードコンピュータで製作することが可能である。本稿ではまず入力部の設計と実装を行い、出力部の設計と実装は 5 月に開催される IOT 研究会以降で発表予定である。入力部に必要とされる部品とその数量の概略は以下の通りであり、これらの総額

*8 壺装束とは - コトバンク
<https://kotobank.jp/word/%E5%A3%BA%E8%A3%85%E6%9D%9F-99449>

は 2 万円から 3 万円程度である*11.

- Raspberry Pi*12 4B × 1
- USB カメラ (2K1K) × 2
- ESP32 × 2
- モバイルバッテリー (10400mAh あるいは 26000mAh) × 1
- 赤外線センサー × 4
- 赤外線 LED × 1
- npn トランジスタ × 1
- ブレッドボード × 1
- スライドスイッチ × 3
- 銅箔粘着テープ × 1
- 市女笠 × 1

3.1 計算機部

図 4 はこれらの部品を用いて構築する環境の概略図である。バッテリーに接続された Raspberry Pi 4 を中核とし、2つの USB カメラが接続されている。1つのカメラはテレビ会議システムで自分を撮影するための内向きのカメラであり、もう1つは市女笠の中子に設置し、前方を撮影し、利用者が目にする画面に利用する外向きのカメラである。テレビ会議システムを中心とした OS の画面表示を外向きカメラで撮影された前方映像とスーパーインポーズすることにより、利用者は OS の画面をみながら、同時に前方も閲覧することができ、移動中においても安全性を確保することができる。

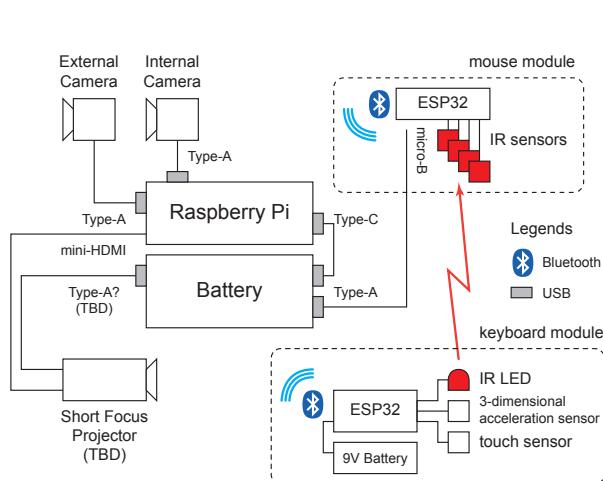


図 4 提案環境の概略図

Raspberry Pi 4 には Raspberry Pi OS をインストールするが、ARM64 版 Windows 10 を搭載することも可能である。本稿では Raspberry Pi OS をインストールした環境を前提とする。Raspberry Pi OS 上にインストールされ

*11 市女笠は日本の伝統的な家庭であればどこにでもあるものなので総額に含めていない。

*12 Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi
<https://www.raspberrypi.org/>

た Google Chrome, あるいは Firefox を利用することでテレビ会議システムである Zoom を利用することができる。また Google アカウントを所有していれば Google Docs や Google Spreadsheet, および Google Presentation でオフィススイートを一通り利用することが可能である。これらのテレビ会議やオフィスワークに必要なソフトウェアを利用するためには入力デバイスが必要となる。そのため提案環境では Bluetooth で接続されたキーボードモジュールとマウスモジュールを具備する。

市女笠の中子の部分に重量のある機器をまとめて配置する。市女笠の断面図に全体構成を物理配置した構成を図 5 に示す。中子に配置されるのは Raspberry Pi 4, バッテリー, および外向きのカメラである。本稿では詳細について言及しないが、出力部は短焦点プロジェクタと再帰性反射材を用いるため前述のようなスーパーインポーズをしなくとも前方の視認性を確保できる可能性がある。この評価の詳細については 5 月に長野県で開催される予定の IOT 研究会, あるいはそれ以降のシンポジウム等で発表する予定である。そのためここでは投影装置への言及がないが、バッテリーへの負荷を考慮し消費電力の小さな, あるいは電源内蔵型の投影装置が候補として挙げられる。市女笠の前方には赤外線センサーが 4 つついており、このセンサにより、マウスモジュール部にある右手につけられた赤外線 LED の位置推定が行われ、これがマウスの動作に反映される。

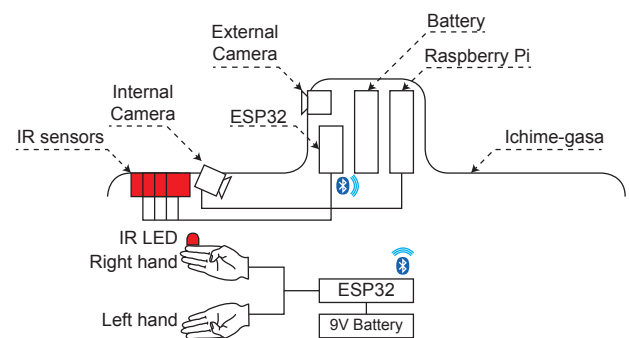


図 5 市女笠の断面図と全体構成の物理配置図

3.2 キーボードモジュール

図 4 および図 5 で示したようにキーボードモジュールは赤外線 LED と 3 軸加速センサ, およびタッチセンサが ESP32 に接続される。マウスモジュールはバッテリーから離れた場所にあるため 9V 電池で電源供給する。図 6 はキーボードモジュールの構成を解説したものである。

キーボードモジュールは両手に装着する。ベルトを四指基底部に巻き付ける形になるが、ベルトに内蔵されている銅箔テープによるタッチセンサが四指基底部に接触させることができるのであればグローブ型であっても良い。銅箔

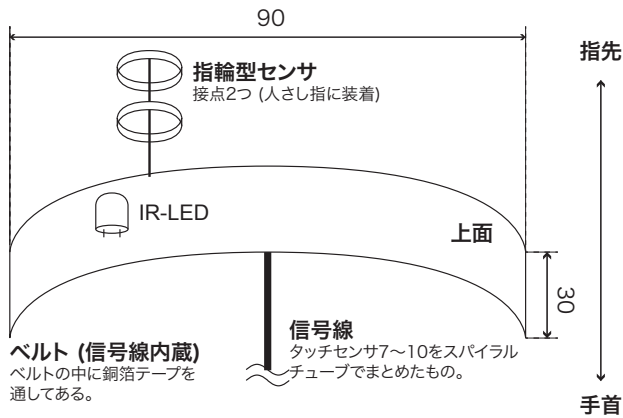


図 6 キーボードモジュールの解説図

テープによるタッチセンサは片手で7から11個用意し、これらは四指の基底部と親指の基節に接続する。また基節・末節をより柔軟に動かすことのできる人さし指、中指、薬指については銅箔テープを指輪型にしたタッチセンサを用意する。これらのセンサ線は信号線にまとめられ、手首に配置される ESP32 に接続され、ESP32 は Bluetooth による通信で信号線の情報を Raspberry Pi 4 に送信する。赤外線 LED はマウスモジュールに含まれる赤外線センサーでの検出に利用する。

3.3 マウスモジュール

図 4 および図 5 に示したようにマウスモジュールは ESP32 に接続された 4 つの赤外線センサーからなる。図 5 に示したようにマウスモジュールの ESP32 は物理的な配置において Raspberry Pi 4 と接続されたバッテリーに近いので、図 5 では ESP32 がバッテリーと接続されている。この ESP32 に赤外線センサーを 4 つ接続し、市女笠のつばの内側前方に十字となるように配置する (図 7)。

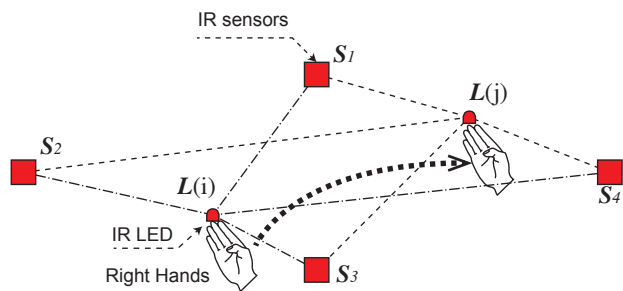


図 7 マウスモジュールの物理配置とセンシング原理の模式図

赤外線センサーはキーボードモジュールに接続された赤外線 LED の光の強さを電圧値として ESP32 に与え、ESP32 はこれを D/A 変換し 12bit 値とする。ESP32 は 4 つの赤外線センサーから得られた光の強さ値を Bluetooth で Raspberry Pi 4 に送信し、Raspberry Pi 4 はこの値から手の位置を推定してマウスポインタの移動後の座標を

得る。

4. 評価

本稿では可搬性と機密性を両立した占有型情報環境の定量的な評価を行う。可搬性を評価するために市女笠の中子に配置された計算機部の重量を計測した。総重量はバッテリーの重量が支配的であり、10400mAh のバッテリーの場合は総重量が 578g、26800mAh のバッテリーの場合は 762g であった。構成部品の総額は 10400mAh の構成で 36800 円、26800mAh の構成で 37200 円であり、価格差は 1%程度であり無視可能である。

次に稼働時間の計測を行った。Google Chrome で Zoom, Google Docs, Google Spreadsheet, Google Presentation のタブを開き、Zoom ではミーティングにほか 1 人が参加している状態で、その 1 人がムービーをリピートさせて再生し続けるという状況を作り、OS が落ちるまでの時間を 1 度計測した。10400mAh のバッテリーにおいて、10 時間 46 分、26800mAh のバッテリーにおいては 26 時間 8 分であった。

5. おわりに

本稿ではプライバシーとセキュリティが侵害されるリスクを低減してテレビ会議やビデオ通話を空間に制約されることなく実施することが可能な可搬性と機密性を両立した占有型情報環境を提案し、その評価を行った。機密性について本稿では十分な説明を行うことができなかったが、関連研究である Secure I/O Unit において、その評価が行われているので参考されたい。今後の研究会では、より詳細な定量的・定性的な評価と、出力部のセキュリティに関する解説を行う予定である。市女笠とたれ衣からなる装束は通俗的ではないという批判があるが、これは謂わば文化批判のようなものであり、高度な文明社会において許容される批判とは言い難い。このことを実証するため、日本国内のみならず世界各地で市女笠とたれ衣を身に付けて実証実験を行い、現地の人々がどのような感想を抱くかフィールドワークを実施することを検討している。

参考文献

[1] Heglund NC, Willems PA, Penta M, Cavagna GA. Energy-saving gait mechanics with head-supported loads. Nature. 1995 May 4;375(6526):52-4. doi: 10.1038/375052a0. PMID: 7723841.