筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

携帯情報端末ケース上の電極を用いた背面操作手法

駒田 悠

指導教員　志築 文太郎

2017 年 1 月

概要

携帯情報端末の使用者の多くは片手のみを用いた操作を望んでいる一方，片手によって行うことのできる操作は限られている．片手のみを用いた操作の入力語彙を拡張するアプローチの一つとして，端末背面での操作手法が研究されてきた．本研究では，携帯情報端末ケース上に電極を設置することによる，携帯情報端末ケース背面における片手操作手法を示す．これに際し，静電容量の変化を利用したタッチ操作およびスワイプ操作の検出を行った．次に，基板を内蔵するスペースを設けた携帯情報端末ケースの製作を行った．さらに，タッチ操作およびスワイプ操作の検出を行うためのプロトタイプ基板および完成基板の製作を行った．これにより，本システムでは端末から得られる電力のみを用いて携帯情報端末ケース背面での操作を行うことができる．また，本手法のアプリケーション例として，マウスデバイスおよびキーボードデバイスを示した．

目 次

第 1 章　序論 **1**
1.1　背景 1
1.2　目的とアプローチ 1
1.3　本論文の貢献 2
1.4　本論文の構成 2

第 2 章　関連研究 **3**
2.1　携帯情報端末の背面を操作に用いた研究 3
2.2　静電容量の変化を操作に用いた研究 4

第 3 章　提案手法 **5**
3.1　検出原理 5
3.1.1　タッチ操作検出手法 5
3.1.2　スワイプ操作検出手法 5
3.2　マイコンボードを用いた試作 5
3.3　携帯情報端末ケースの製作 8
3.4　プロトタイプ基板の設計および実装 8
3.5　完成基板の設計および実装 10

第 4 章　アプリケーション例 **14**
4.1　マウスデバイス 14
4.2　キーボードデバイス 14

第 5 章　議論 **16**
5.1　電極付近における触覚フィードバック 16
5.2　配線経路 16
5.3　電極の数 16

第 6 章　結論 **17**

謝辞 **18**

参考文献 **19**

付 録 A　各種図面 **23**
A.1　製作した基板のパターン図 23

図 目 次

1.1 背面操作の例（PlayStation®Vita[5]） 2

3.1 静電容量計測回路 6
3.2 電圧の時間変化（非タッチ時） 6
3.3 電圧の時間変化（タッチ時） 7
3.4 背面に電極を設置した携帯情報端末 7
3.5 4 電極による 4 方向のスワイプパターン 8
3.6 製作した端末ケースの 3D モデル 9
3.7 端末ケース（表） 9
3.8 端末ケース（裏） 10
3.9 プロトタイプ基板（表） 11
3.10 プロトタイプ基板（裏） 11
3.11 作成した基板の回路図 12
3.12 製作した基板（表） 13
3.13 製作した基板（裏） 13

4.1 背面操作によるブラウザのスクロール操作 15

A.1 製作した基板のパターン図（表） 23
A.2 製作した基板のパターン図（裏） 24

第1章　序論

本章では，携帯情報端末における主要な操作の問題および先行研究にて行われている問題解決のためのアプローチを述べる．次に，本研究の目的およびアプローチを示す．その後，本論文の貢献を示し，本論文の構成を述べる．

1.1　背景

今日，携帯情報端末の操作は，タッチスクリーンへ指を触れることによる操作が一般的である．主に使用される操作として，タッチスクリーンへ指を触れてすぐに離すタップ操作，タッチスクリーンへ指を触れたまま横へすばやく動かすスワイプ操作，タッチスクリーンへ二本の指にて触れたまま広げるあるいは狭めるように動かすピンチ操作などが挙げられる．また，多くのユーザは片手のみを用いた携帯情報端末の操作を望んでいることが報告されている [1, 2]．その一方で，片手のみを用いた携帯情報端末の操作では，ピンチ操作のように複数の指を用いた操作（マルチタッチ操作）を行うことができないため，可能な操作が限られるという問題がある．

この問題を解決するため，GripSense [3] や The Fat Thumb [4] のような新たな操作手法の提案が行われてきた．問題解決のアプローチの一つとして，背面操作に着目した研究が提案されてきた．現在普及している多くの携帯情報端末では，端末背面にまわる指は操作に割り当てられていないため，これらを活用することによって入力語彙の幅を拡張することができる．また，背面操作では画面の表示領域を覆うことがないという利点もある．背面を操作に用いる携帯情報端末は世の中に徐々に登場しつつある．例えば，PlayStation®Vita（図 1.1）[5] は背面にタッチパッドを備えており，操作に利用することができる．YOTAPHONE2 [6] は背面が E-ink（電子ペーパ）タッチパネルディスプレイとなっているため，表裏の両面にてタッチ操作が可能である．

1.2　目的とアプローチ

本研究の目的は，携帯情報端末背面を操作に用いることにより，片手操作の入力語彙を増やすことである．この目的を達成するにあたり，本研究では携帯情報端末ケースを製作し，製作した基板を介して端末ケース背面に設置した電極と端末を接続することにより，ユーザの背面タッチを認識する．背面にタッチパッドを備えていない端末にて背面操作を可能とするシステムを開発した．

図 1.1: 背面操作の例（PlayStation®Vita[5]）

1.3　本論文の貢献

本研究の貢献を以下に示す．

- 外部電源を用いない携帯情報端末における背面操作手法を示した．
- タッチ操作およびスワイプ操作を検出できる基板の設計を示した．
- 本手法を用いたアプリケーション例を示した．

1.4　本論文の構成

本論文の構成を述べる．2 章にて本研究に関連する研究および本研究の立ち位置を述べる．3 章にて本手法におけるタッチ操作およびスワイプ操作の検出原理ならびに製作した基板の実装を述べる．4 章にて本手法を用いたアプリケーションとして実装したマウスデバイスおよびキーボードデバイスを述べる．5 章にて本手法に関する議論を述べる．6 章にて結論を述べる．

第2章　関連研究

本研究は，携帯情報端末ケース背面へ静電容量方式タッチセンサを設置することにより，操作を拡張する．よって，本章では関連する研究として「携帯情報端末の背面を操作に用いた研究」および「静電容量の変化を操作に用いた研究」を述べる．

2.1　携帯情報端末の背面を操作に用いた研究

携帯情報端末背面を操作に用いることによる，タッチ操作の拡張もしくは代替となる操作手法は数多く提案されている．Wigdor ら [7] は端末表面での操作時に画面が指で隠れる問題を回避するため，端末背面にタッチパッドを設置することによって背面での操作を可能とした端末 Lucid Touch を開発した．Baudisch ら [8] は超小型の携帯情報端末使用時に画面が指で隠れる問題を解決するため，擬似シースルー型端末を提案した．これらは，背面での操作を行うにあたり発生する，操作指が見えなくなることにより操作しづらくなるという問題を端末表面に操作指を表示することにより解決している．Kim ら [9] は携帯情報端末背面に QWERTY キーボードを取り付けた新たな文字入力手法を提案した．Löchtefeld ら [10] は端末表面のタッチスクリーンと，裏面に設置したトラックパッドを組み合わせた操作手法を提案し，評価を行った．その結果，表面のタッチスクリーンのみを用いた操作と比べ，表裏の両面を使用した操作の方が速度は遅いが正確にターゲットを選択することができた．土佐ら [11] は表裏の両面にてタッチ操作が可能な端末を用いた新たな入力手法 LoopTouch を提案した．ユーザは表面と背面を同時にスワイプすることにより，端末の画面全体をループさせることができる．Xiao ら [12] は携帯情報端末背面のカメラを指にて塞ぐ入力手法を提案した．背面カメラの画像を解析することにより，カメラの塞ぎ方と上下左右方向のスワイプ操作を認識することができる．Seipp ら [13] は携帯情報端末内蔵のマイクおよびジャイロスコープを利用することにより，人差し指と中指による背面タップおよび親指による側面タップの認識を実現した．Roudaut ら [14] は携帯情報端末内蔵の加速度センサを用いて，人差し指による背面タップの認識を可能とした．箱田 [15] は携帯情報端末背面に距離センサおよび気圧センサを設置することにより，背面操作を可能とした．深津 [16] は片手のみを用いた携帯情報端末操作時における親指および人差し指の可動領域の調査を行った．また，この実験結果をもとに，背面に複数の穴をつけ触覚フィードバックを与えることのできる背面操作手法を提案した．

本研究では，携帯情報端末背面に静電容量方式タッチセンサを設置することにより背面操作を可能とする．

2.2 静電容量の変化を操作に用いた研究

タッチセンサには様々な方式があるが，本研究においては端末背面へのタッチの検出を静電容量方式にて行った．静電容量の変化を操作に用いた研究はこれまでにも数多くなされている．Kawahara ら [17] は銀ナノインクをインクジェットプリンタを用いて印刷する技術を開発した．これにより，簡単に電子回路を製作することが可能となった．Lo ら [18] は導電インクペンを用いて紙に回路を描くことにより，自由な形状の電子回路製作を可能とした．Gong ら [19] は導電インク印刷により曲げられる静電容量方式タッチセンサを提案した．Kato ら [20] は導電インクを縞模様に印刷したシールを静電容量方式タッチスクリーンへ貼り付けることにより，シールをタッチすることでタッチスクリーン上へタッチを発生させる手法を示した．Rekimoto[21] は網状の電極を面上に設置することにより，腕など人体との距離を静電容量変化によって計測するシステムを提案した．Tsuruta ら [23] は紙の両面に印刷した電極の大きさを工夫することにより，単一結線にて接続された多電極中の被タッチ電極を検出する手法を示した．

本研究では，端末ケース背面に静電容量方式タッチセンサを工夫して設置することにより，タッチ操作およびスワイプ操作を検出する．

第3章　提案手法

本手法は静電容量変化を用いてタッチ操作およびスワイプ操作の検出を行う．本章ではまずこれらを検出するための原理を示す．次に，検出するために行った試作，プロトタイプ基板，携帯情報端末ケースおよび完成基板を述べる．

3.1　検出原理

本手法におけるタッチ操作およびスワイプ操作の検出原理を説明する．

3.1.1　タッチ操作検出手法

タッチを検出する手法には感圧方式 [22, 24]，光学方式 [25, 26]，音響方式 [27, 28]，静電容量方式 [21, 29] などいくつかの方式がある．構造が単純であり容易に製作できることから，今回は静電容量変化をもとにタッチを検出する手法を用いた．図 3.1 に静電容量計測回路の概略図を示す．図 3.1 のように，静電容量方式のタッチセンサはマイクロコンピュータ（以下，マイコン）と電極の間に抵抗 R を接続することにより製作できる．本回路はマイコンにて生成した 10kHz の矩形波を電極へ送ることにより，充放電を繰り返す．放電をしている際の出力波形を図 3.2 および図 3.3 に示す．指が触れていないときに比べて指が触れているときの方が静電容量が大きくなるため，図 3.3 のように指定したしきい値を下回るまでの時間 dt が長くなる．この時間を計測することにより，指が電極に触れているかどうかを検出する．

3.1.2　スワイプ操作検出手法

本手法においては，マイコンの送受信用のピンを電極 1 つにつき 1 つ割り当てている．そのため複数電極を設置した場合においても，マイコンは各電極を識別することができる．携帯情報端末背面に電極を設置した例を図 3.4 に示す．また図 3.4 の電極を用いて図 3.5 のように，各電極に触れた順番および時間間隔より，スワイプの認識を行うことができる．

3.2　マイコンボードを用いた試作

タッチ検出およびスワイプ検出を行うにあたり，導電インクを用いて紙に電極を印刷し試作を行った．タッチを検出するための回路にはマイコンボード mbed LPC1768 を使用し，mbed

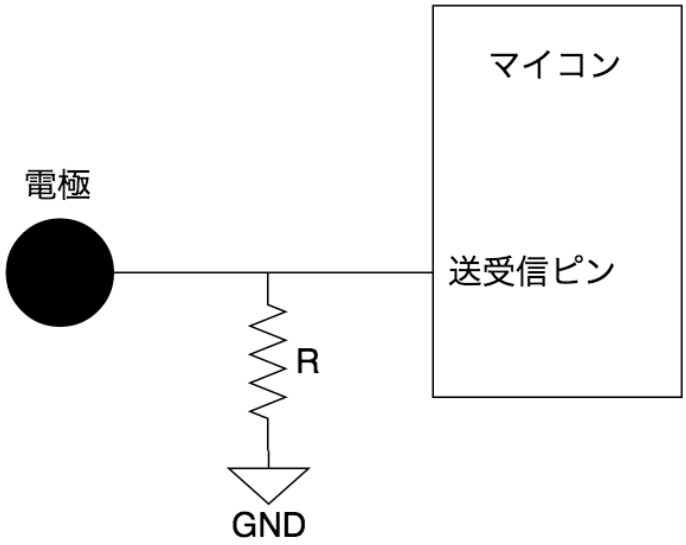

図 3.1: 静電容量計測回路

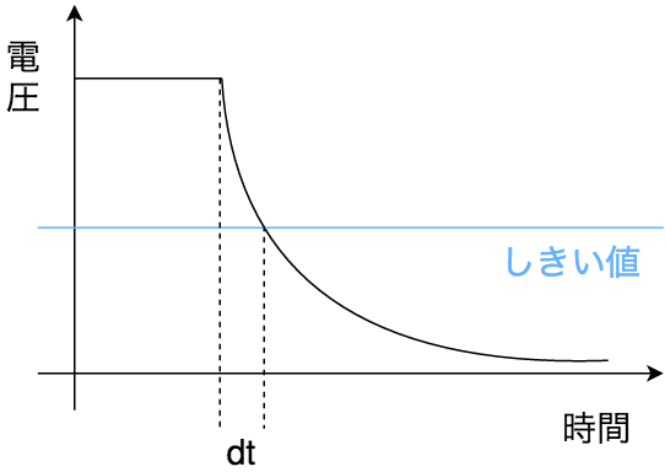

図 3.2: 電圧の時間変化（非タッチ時）

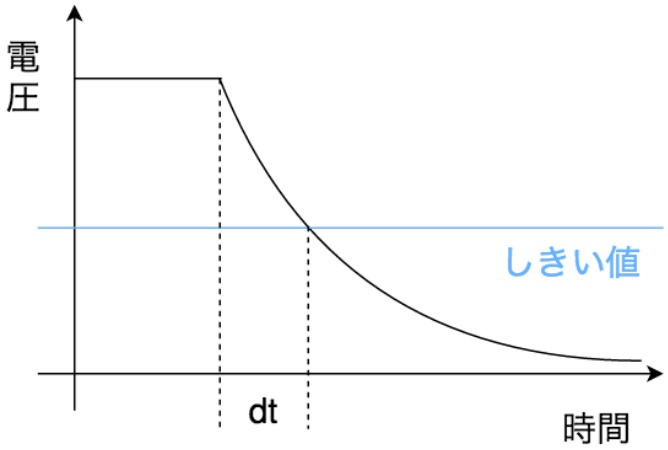

図 3.3: 電圧の時間変化（タッチ時）

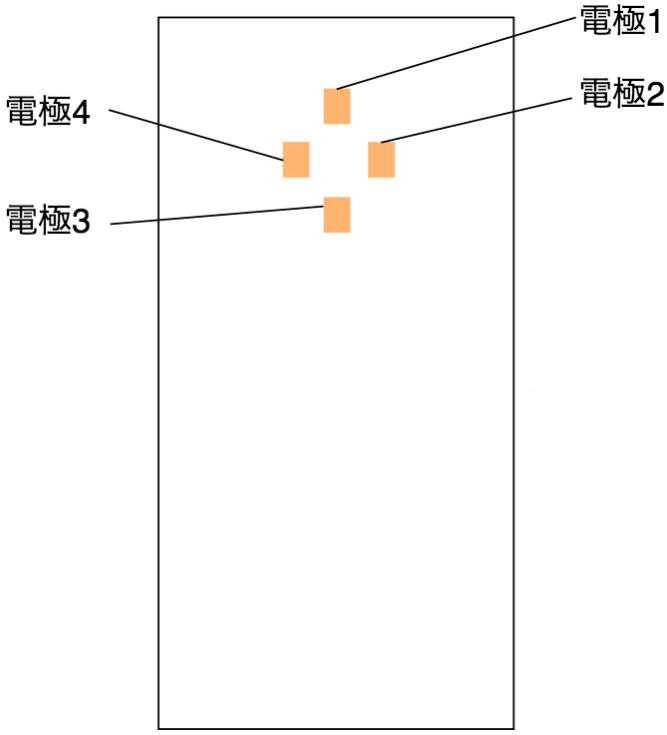

図 3.4: 背面に電極を設置した携帯情報端末

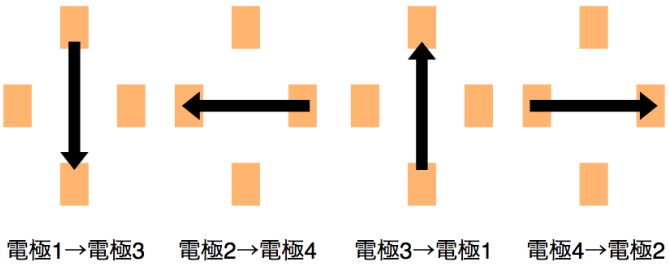

図 3.5: 4 電極による 4 方向のスワイプパターン

プラットフォームにて作成したプログラムを使用した．その結果 3.1 節の検出原理にてタッチ操作および上下左右 4 方向のスワイプ操作を認識できることを著者の使用により確認した．

3.3 携帯情報端末ケースの製作

本システムは携帯情報端末，携帯情報端末ケースおよび静電容量変化を認識し端末に送信する基板からなる．そこでまず，携帯情報端末および基板を格納するための端末ケースを製作した．製作した端末ケースの 3D モデルを図 3.6 に，3D プリンタ（FLASHFORGE 社製，Dreamer[30]）にて印刷した実際の図を図 3.7 および図 3.8 に示す．端末ケースは GALAXY S4 SC-04E（高さ 137 mm× 幅 70 mm× 厚さ 8 mm）に合うように設計した．端末ケース下部へ製作した基板を設置し，端末ケース下部に空いている穴から配線を通して端末ケース背面に設置した電極と基板を接続する．また，3D プリンタによる印刷には ABS 樹脂フィラメントを用いた．端末ケースに基板も収納することにより全体がコンパクトになり，ユーザが携帯情報端末ケースとして持ち運び使用することができる．

3.4 プロトタイプ基板の設計および実装

携帯情報端末以外の外部機器との接続なく独立して動作させるため，携帯情報端末ケースに載せる回路の実装を行った．製作した基板の写真を図 3.9 および図 3.10 に示す．図 3.9 および図 3.10 ではデバッグ用として miniUSB-B メスが接続されており，実際に端末と接続して使用する際には microUSB-B オスへ変更する必要がある．プロトタイプ基板の電源は端末の microUSB 端子から得る．また，端末との通信に関しても microUSB 端子経由にて行う．携帯情報端末との接続部を除いた基板の大きさは高さ 2 cm× 幅 2 cm である．mbed マイコンボード用プログラムをオンライン上で制作できる mbed プラットフォームにてプログラムの開発を行うことを考え，マイコンには mbed プラットフォーム対応ボードに多く使用されている LPC11U35 を用いた．基板の実装には，LPC11U35 DIP 化モジュール [31] を使用した．回路の実装を行うにあたって，USB による通信を行うにはマイコンから生成するクロックでは周波数精度が低いため，水晶振動子を使用して高精度のクロックを生成している．USB から得

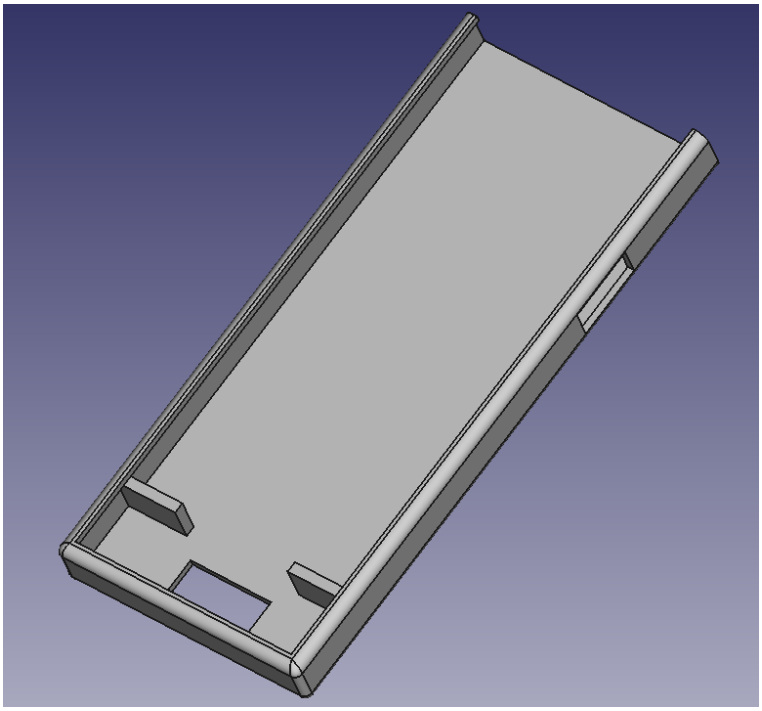

図 3.6: 製作した端末ケースの 3D モデル

図 3.7: 端末ケース（表）

図 3.8: 端末ケース（裏）

られる電圧は 5 V であり，マイコンの駆動には 3.3 V が必要であるため，リニアレギュレータ (AMS1117-3.3) を用いて降圧した．タッチ検出のために用いる抵抗は，10MΩ のものを使用した．この基板を用いて，3.1 節に示した原理によってタッチおよびスワイプを認識することを著者の使用により確認した．

3.5 完成基板の設計および実装

プロトタイプ基板から更に小型化した基板の製作をした．製作した基板の回路図を図 3.11 に，実際の写真を図 3.12 および図 3.13 に示す．また，製作した基板のボード図を本論文の付録 A に示す．回路構成自体はプロトタイプ基板から変更せず，マイコンの大きさ程度となるように両面基板として設計を行った．携帯情報端末との接続部を除いた基板の大きさは 1.1 cm×1.1 cm である．小型化のため，プロトタイプ基板で用いた水晶振動子とは異なる，表面実装用の水晶振動子 (7M-12.000MAHE-T) を用いた．検出用のピンを 4 つ引き出しているため，最大 4 つの電極のタッチ検出が可能である．

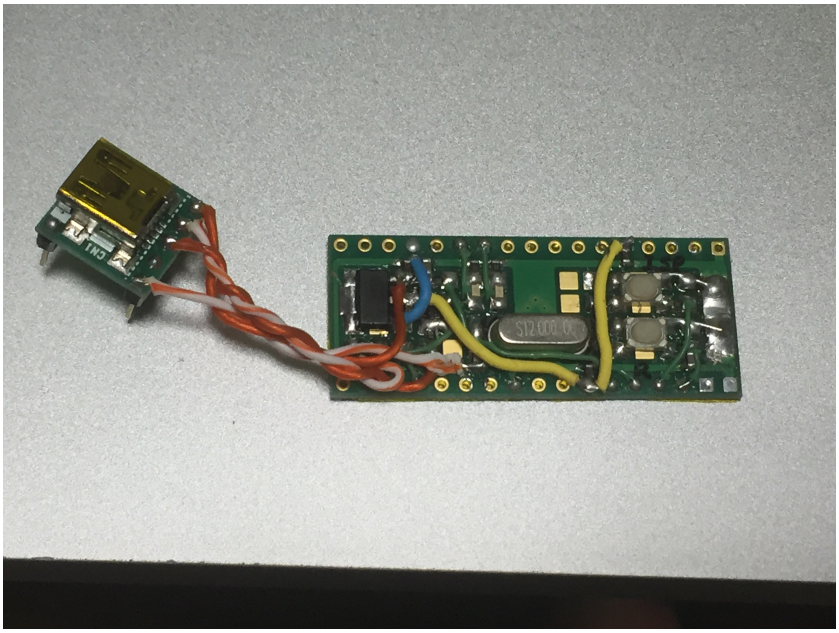

図 3.9: プロトタイプ基板（表）

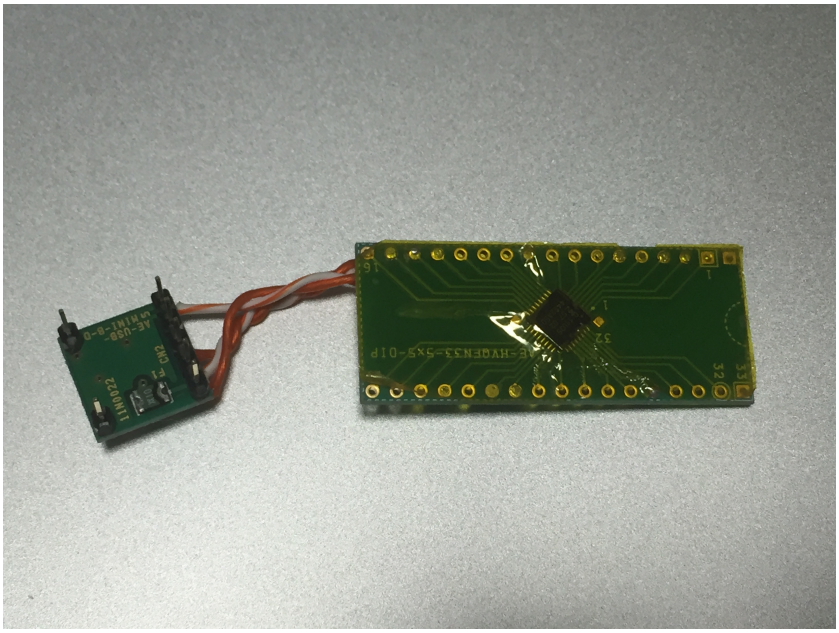

図 3.10: プロトタイプ基板（裏）

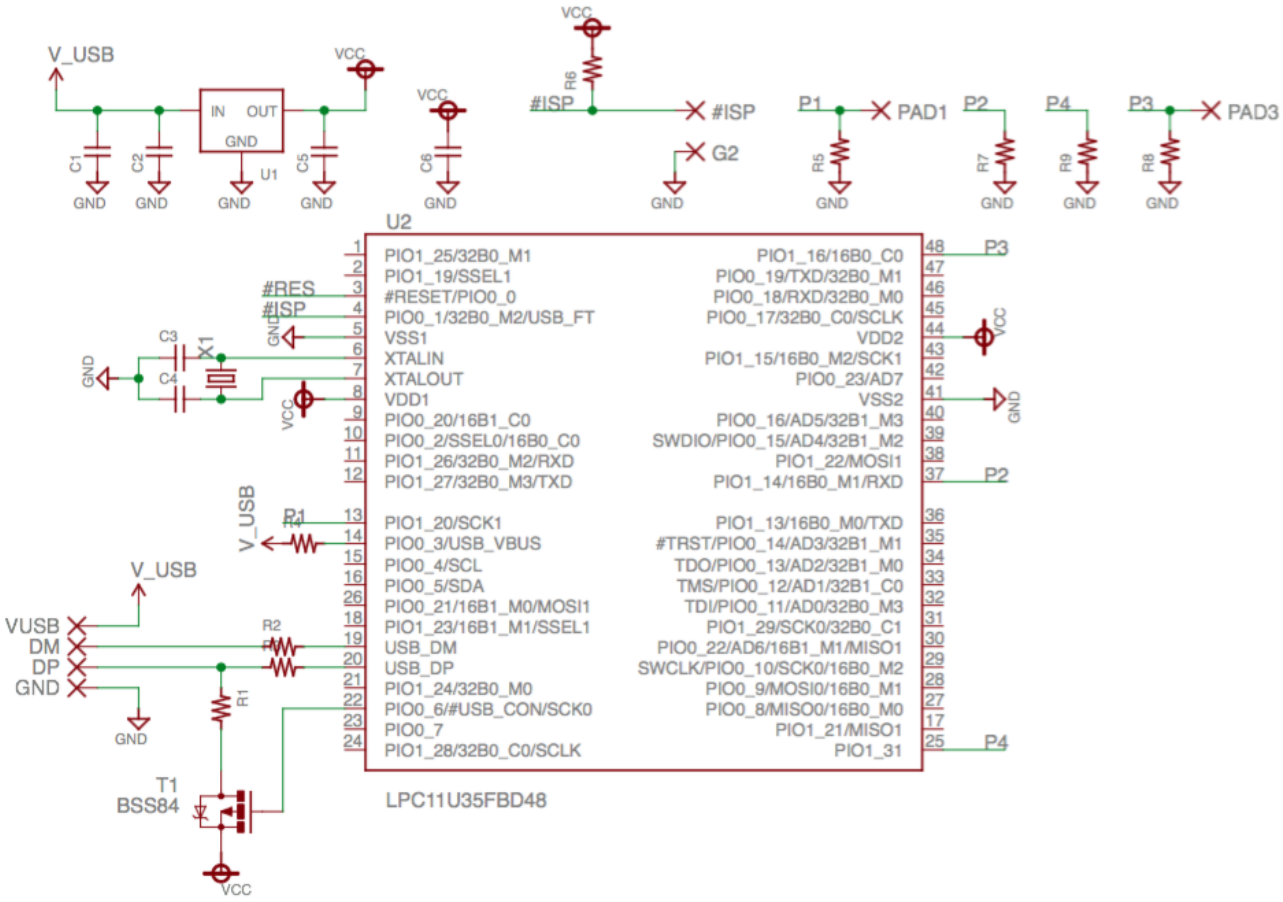

図 3.11: 作成した基板の回路図

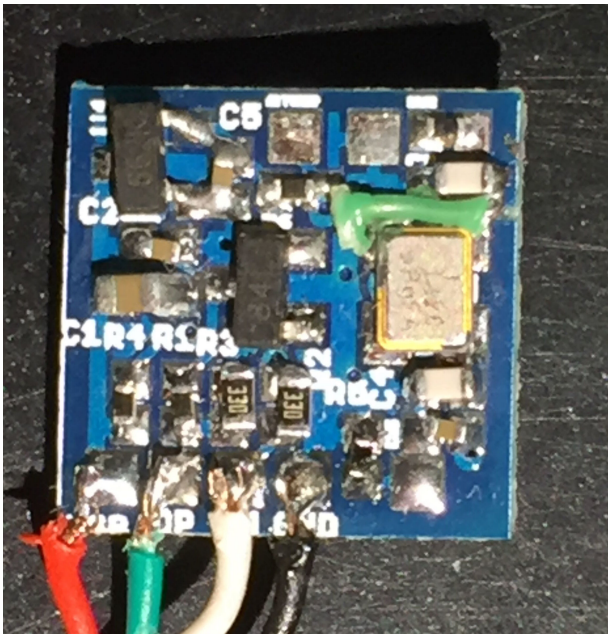

図 3.12: 製作した基板（表）

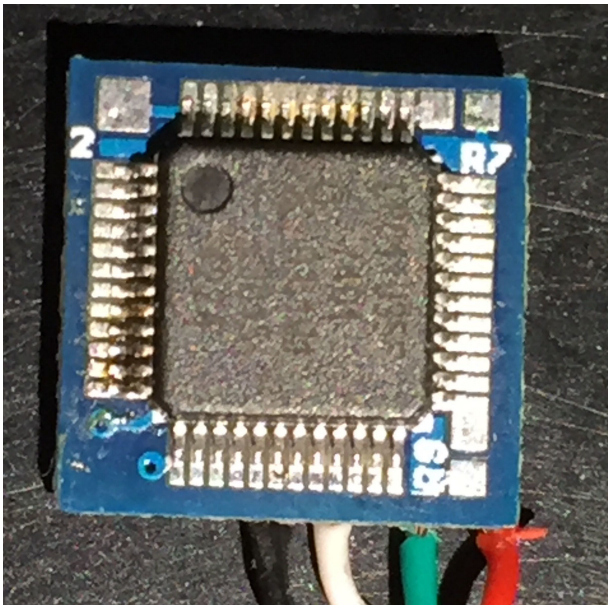

図 3.13: 製作した基板（裏）

第4章　アプリケーション例

本手法を用いるアプリケーション例として，マウスデバイスおよびキーボードデバイスを示す．

4.1　マウスデバイス

本手法では microUSB により携帯情報端末と接続する．そのため，USB スレーブ側として接続することにより，端末にマイコンを HID デバイスとして認識させることができる．これを実現するために，製作したマイコンを USB マウスデバイスとして端末に認識させるプログラムを作成した．これにより，例えば図 4.1a に示す状態から図 4.1b に示す状態まで端末ケース背面にて下方向スワイプを行うことにより，本手法をブラウザのスクロール操作として用いることができる．

4.2　キーボードデバイス

携帯情報端末上の仮想キーボードを利用して文字入力を行う際に，シフトキーを押しながら入力するなど複数キーの同時入力を行いたいことがある．しかし片手のみを用いた操作では複数キーを同時に入力することは困難である．そこで本手法を用いて背面の電極タッチをシフトキーに割り当てることにより，片手のみを用いた操作にて複数キーを同時に入力できると考えられる．

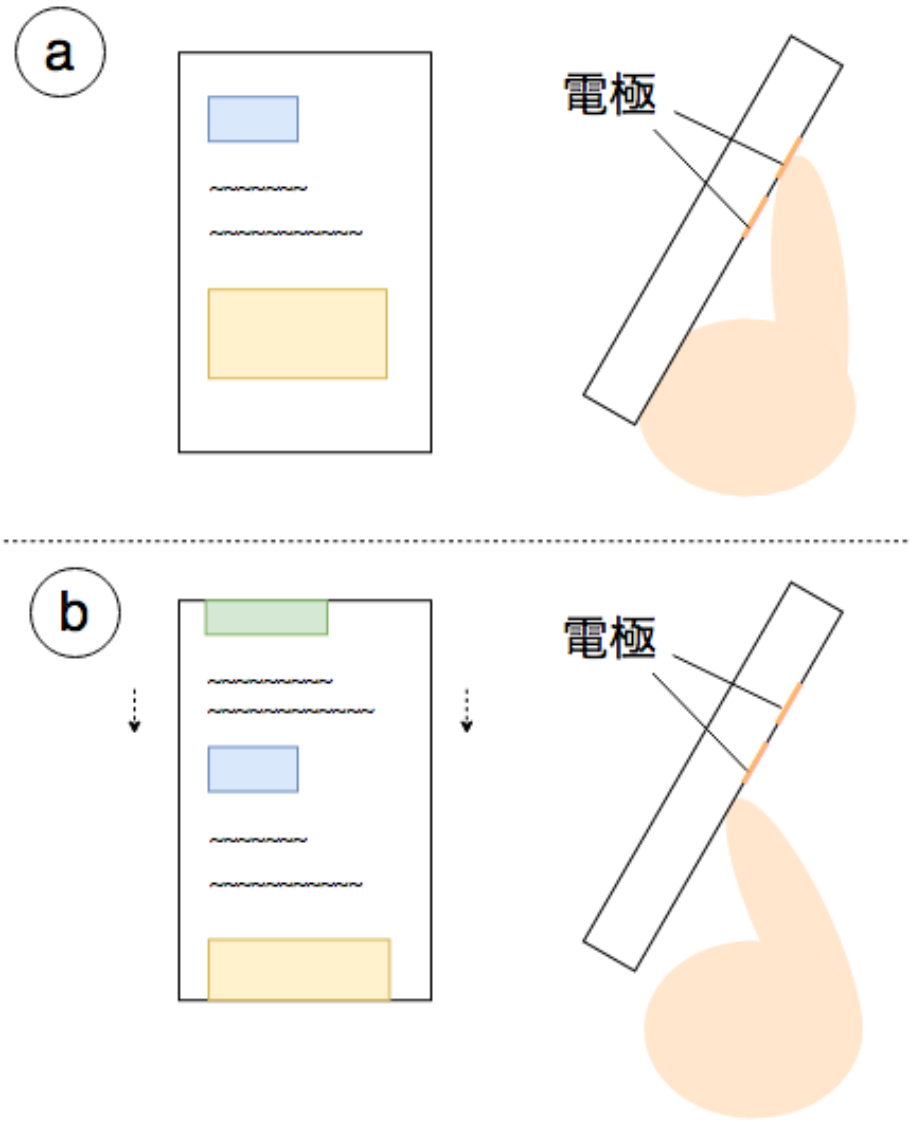

図 4.1: 背面操作によるブラウザのスクロール操作

第5章　議論

本章では，本手法に関して議論する．

5.1　電極付近における触覚フィードバック

本手法を用いて著者が背面操作を行った上で，操作する指を見ることができないため視覚フィードバックに欠け，電極の位置を把握しづらいと感じた．この問題の解決方法の一つとして，高田ら [32] が述べるように，触覚フィードバックを与えることが考えられる．例えば，端末ケース背面に設置した電極の付近に起伏をつけることにより，電極の位置を把握しやすくすることが考えられる．

5.2　配線経路

端末ケース背面に設置した電極から基板へ接続するにあたり，現在は端末背面を沿わせた上で端末ケース下部の穴から基板に接続している．そのため，端末を把持した際や背面の電極を触れる際に，配線に触れて操作しづらくなると感じた．この問題は，配線の経路を工夫することにより，解決可能である．具体的には，電極の真下に穴を空け，携帯情報端末の裏を沿わせて基板に接続することが考えられる．

5.3　電極の数

現在使用している基板では，最大 4 つの電極まで設置することができる．しかし，4 つの電極のみを組み合わせた操作では，可能な操作が限られる．そこで，新しく基板を製作することにより，より多くの電極の設置が可能となる．これにより，現在検出が可能なタッチ操作およびスワイプ操作以外の操作（例えば人差し指と中指を同時に用いた背面操作など）を行えるようになる可能性がある．

第6章　結論

本研究では，携帯情報端末ケース背面に電極を設置し，放電時間の変化を計測することにより，背面にタッチパネルを備えていない端末においても背面操作を可能とするシステムの設計および実装を示した．本システムは携帯情報端末から電源を得るため外部電源を必要とせず，携帯情報端末および携帯情報端末ケース上電極との接続のみで構築できる．また，本システムを用いたアプリケーション例として，製作した基板をマウスデバイスおよびキーボードデバイスとして用いることを示した．これによりタッチ操作，スワイプ操作をマウスのスクロール操作やキーボードのキー入力に用いることが考えられる．

今後の課題として，端末ケース背面に設置する電極数を増やすことにより，現在可能なタッチ操作およびスライド操作以外の操作（例えば人差し指と中指を同時に用いた背面操作）を行えるようにすることが考えられる．

謝辞

本研究を進めるにあたり，志築文太郎先生，高橋伸先生，嵯峨智先生には多くのご意見とご指導をして頂きました．深く感謝致します．特に志築文太郎先生には，健康的な生活を送る上でのアドバイスや研究で行き詰まった際の助言など，とても優しく多くのご指導を頂きました．深く感謝致します．IPLAB の皆様には，研究活動において様々なご助言を頂きました．特に WAVE チームの皆様には，チームゼミをはじめ様々なアドバイスを頂きました．論文執筆の際には，忙しい中でも気にかけてくださり，多くの助言や添削をして頂きました．深く感謝致します．また，共に暮らす友人にも研究に関して多くの面で助言を頂きました．感謝申し上げます．最後に，生活面にて支えてくださった家族と友人，研究生活においてお世話になった全ての方々に心より感謝申し上げます．

参考文献

[1] Amy K. Karlson and Benjamin B. Bederson. Understanding Single-Handed Mobile Device Interaction. Technical report, Department of Computer Science, University of Maryland, 2006.

[2] Pekka Parhi, Amy K. Karlson, and Benjamin B. Bederson. Target Size Study for One-Handed Thumb Use on Small Touchscreen Devices. In Proceedings of the 8th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '06, pp. 203-210, New York, NY, USA, 2006. ACM.

[3] Mayank Goel, Jacob Wobbrock, and Shwetak Patel. GripSense: Using Built-In Sensors to Detect Hand Posture and Pressure on Commodity Mobile Phones. In Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '12, pp. 545-554, New York, NY, USA, 2012. ACM.

[4] Sebastian Boring, David Ledo, Xiang 'Anthony' Chen, Nicolai Marquardt, Anthony Tang, and Saul Greenberg. The Fat Thumb: Using the Thumb's Contact Size for Single-Handed Mobile Interaction. In Proceedings of the 14th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services companion, MobileHCI '12, pp. 207-208, New York, NY, USA, 2012. ACM.

[5] Sony Interactive Entertainment Inc. PlayStation®Vita — プレイステーション®オフィシャルサイト. `http://www.jp.playstation.com/psvita/` (accessed 2017-01-20).

[6] YotaDevices. YotaPhone :: Main. https://yotaphone.com/us-en/ (accessed 2017-01-09)

[7] Daniel Wigdor, Clifton Forlines, Patrick Baudisch, John Barnwell, and Chia Shen. Lucid Touch: A See-Through Mobile Device. In Proceedings of the 20th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '07, pp. 269-278, New York, NY, USA, 2007. ACM.

[8] Patrick Baudisch and Gerry Chu. Back-of-Device Interaction Allows Creating Very Small Touch Devices. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '09, pp. 1923-1932, New York, NY, USA, 2009. ACM.

[9] Hwan Kim, Yea-kyung Row, and Geehyuk Lee. Back Keyboard: A Physical Keyboard on Backside of Mobile Phone using QWERTY. In CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '12, pp. 1583-1588, New York, NY, USA, 2012. ACM.

[10] Markus Löchtefeld, Christoph Hirtz, and Sven Gehring. Evaluation of Hybrid Front- and Back-of-Device Interaction on Mobile Devices. In Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, MUM '13, pp. 17:1-17:4, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[11] 土佐伸一郎, 田中二郎. LoopTouch: 画面ループを用いたモバイル端末片手操作 手法. インタラクション 2013, pp. 175-182. 一般社団法人情報処理学会, 2013.

[12] Xiang Xiao, Teng Han, and Jingtao Wang. LensGesture: Augmenting Mobile Interactions with Back-of-Device Finger Gestures. In Proceedings of the 15th ACM on International Conference on Multimodal Interaction, ICMI '13, pp. 287-294, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[13] Karsten Seipp and Kate Devlin. BackPat: One-Handed Off-Screen Patting Gestures. In Proceedings of the 16th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '14, pp. 77-80, New York, NY, USA, 2014. ACM.

[14] Anne Roudaut, Mathias Baglioni, and Eric Lecolinet. TimeTilt: Using Sensorbased Gestures to Travel Through Multiple Applications on a Mobile Device. In Tom Gross, Jan Gulliksen, Paula Kotz, Lars Oestreicher, Philippe Palanque, RaquelOliveira Prates, and Marco Winckler, editors, Human-Computer Interaction INTERACT 2009, Vol. 5726 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 830-834. Springer Berlin Heidelberg, 2009.

[15] 箱田博之. 携帯情報端末背面における操作認識手法の比較検討. 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文. 筑波大学, 2016.

[16] 深津佳智. 携帯情報端末背面での人差し指の可動領域に基づいた操作手法. 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文. 筑波大学, 2015.

[17] Yoshihiro Kawahara, Steve Hodges, Benjamin S. Cook, Cheng Zhang, and Gregory D. Abowd. Instant Inkjet Circuits: Lab-based Inkjet Printing to Support Rapid Prototyping of Ubicomp Devices. In Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, UbiComp '13, pp. 363-372, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[18] Joanne Lo and Eric Paulos. ShrinkyCircuits: Sketching, Shrinking, and Formgiving for Electronic Circuits. In Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '14, pp. 291-299, New York, NY, USA, 2014. ACM.

[19] Nan-Wei Gong, Jurgen Steimle, Simon Olberding, Steve Hodges, Nicholas Edward Gillian, Yoshihiro Kawahara, and Joseph A. Paradiso. PrintSense: A Versatile Sensing Technique to Support Multimodal Flexible Surface Interaction. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14, pp. 1407-1410, New York, NY, USA, 2014. ACM.

[20] Kunihiro Kato and Homei Miyashita. ExtensionSticker: A Proposal for a Striped Pattern Sticker to Extend Touch Interfaces and its Assessment. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15, pp. 1851-1854, New York, NY, USA, 2015. ACM.

[21] Jun Rekimoto. SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '02, pp. 113-120. ACM, 2002.

[22] Jun Rekimoto and Carsten Schwesig. PreSenseII: Bidirectional Touch and Pressure Sensing Interactions with Tactile Feedback. In CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '06, pp. 1253-1258, 2006.

[23] Masaya Tsuruta, Shuta Nakamae, and Buntarou Shizuki. RootCap: Touch Detection on Multi-electrodes using Single-line Connected Capacitive Sensing. In Proceedings of the 2016 ACM on Interactive Surfaces and Spaces, ISS '16, pp. 23-32, New York, NY, USA, 2016. ACM.

[24] Ilya Rosenberg and Ken Perlin. The UnMousePad - An Interpolating Multi-Touch Force-Sensing Input Pad. SIGGRAPH '09, pp. 65:1-65:9, 2009.

[25] Jefferson Y. Han. Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection. In Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '05, pp. 115-118, 2005.

[26] Chris Harrison, Hrvoje Benko, and Andrew Wilson. OmniTouch: Wearable Multitouch Interaction Everywhere. In Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '11, pp. 441-450, 2011.

[27] Chris Harrison, Desney Tan, and Dan Morris. Skinput: Appropriating the Body as an Input Surface. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '10, pp. 453-462, 2010.

[28] Makoto Ono, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. Touch & Activate: Adding Interactivity to Existing Objects using Active Acoustic Sensing. In Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '13, pp. 31-40, 2013.

[29] Munehiko Sato, Ivan Poupyrev, and Chris Harrison. Touché: Enhancing Touch Interaction on Humans, Screens, Liquids, and Everyday Objects. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12, pp. 483-492, 2012.

[30] Apple Tree. Dreamer. `http://flashforge.co.jp/dreamer/` (accessed 2017-01-20).

[31] 秋月電子通商. LPC11U35 DIP 化モジュール. `http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-10657/` (accessed 2017-01-20)

[32] 高田崚介, 志築文太郎, 田中二郎. Monotouch : 複数ジェスチャ判別が可能な単一電極タッチセンサ. 第 23 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ（WISS 2015）論文集, WISS'15, pp. 91-96, 日本, 2015. 日本ソフトウェア科学会.

付 録A　各種図面

A.1　製作した基板のパターン図

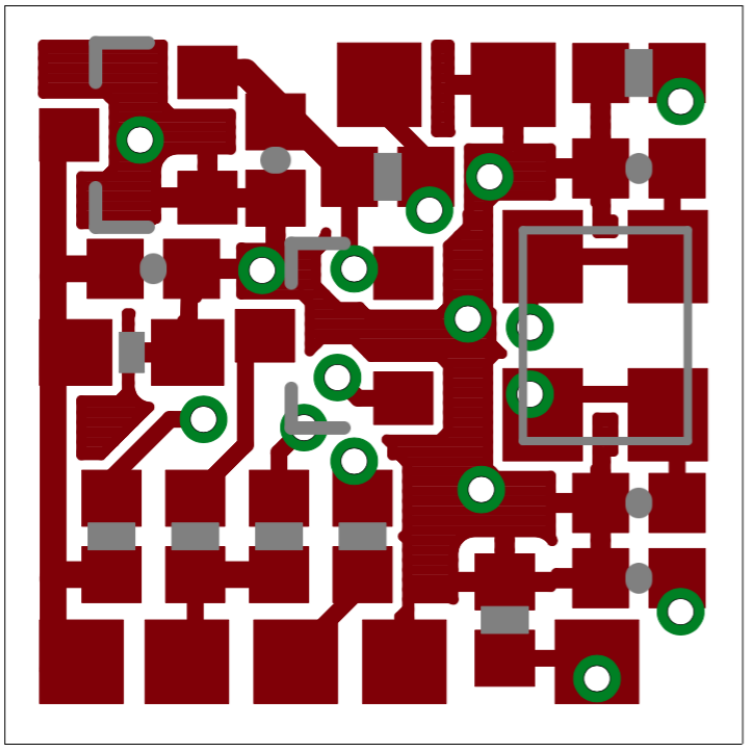

図 A.1: 製作した基板のパターン図（表）

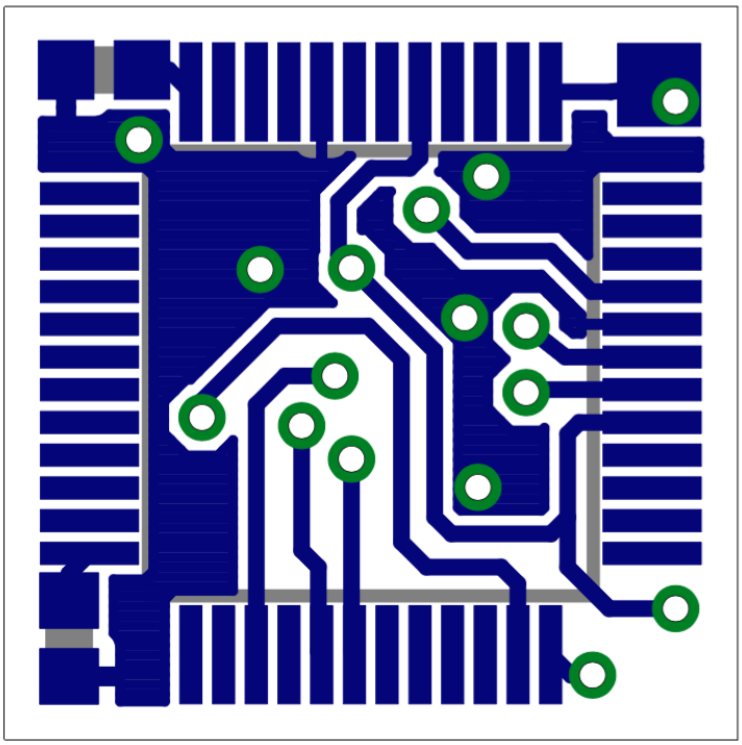

図 A.2: 製作した基板のパターン図（裏）