

ExtensionSticker: タッチパネルを拡張するインタフェース

加藤 邦拓*¹ 宮下 芳明*¹

ExtensionSticker: An Interface that Can Extend a Touch-panel Device

Kunihiro Kato*¹ and Homei Miyashita*¹

Abstract – In this paper, we propose “ExtensionSticker”, a striped pattern sticker that can extend touch interface by simply attaching the sticker to a touch panel display. This sticker has multiple conductive lines, and when the user touches on the sticker, a touch input can be generated. This method is not only touch input as specific locations, but allows for continuous touch input such as scrolling operation. This allows a user to prototype an interface to extend touch panel devices easily. Furthermore, we experimented on the recognition accuracy of scroll and tap actions using the proposed method.

Keywords : Conductive ink, Continuous touch input, Striped Pattern Sticker

1. はじめに

近年、スマートフォンやスマートウォッチ、タブレット端末など、静電容量式タッチパネルディスプレイを搭載した様々な機器が普及している。ユーザは、ディスプレイ内の情報を指で直接タッチすることで、より直感的で分かりやすい操作をすることができるようになった。

本研究では、こうした静電容量式タッチパネルディスプレイを搭載したデバイスを拡張するインタフェース “ExtensionSticker” を提案する。ユーザは導電性インクによって縞模様状のパターンを印刷したシート ExtensionSticker を静電容量式のタッチパネルディスプレイ上に貼り付けるだけで、タッチパネルを様々な形式に拡張できる。ユーザが ExtensionSticker 上の一端においてタッチ操作を行った際、シートのもう一端 (タッチパネルディスプレイ上に貼り付けられた箇所) においてタッチ入力を発生させることができる (図 1)。また、特定の箇所においてタッチ入力を発生させるだけでなく、スクロール操作のような連続的なタッチ入力を実現した。2 章に示すように、スマートフォンなどのデバイスの入力インタフェースを拡張する手法はこれまでも数多く提案されてきた。また、既存の静電容量式タッチパネルを活用したインタフェースの拡張手法^[10] では特定箇所でのタップ操作しか行うことができなかった。本研究では静電容量式タッチパネル上で使用するスクロール、スワイプ、ピンチなどの操作を実現するため、導電性パターンを縞模様状に配置した。また、それに加え導線の配置・形状を変えるこ

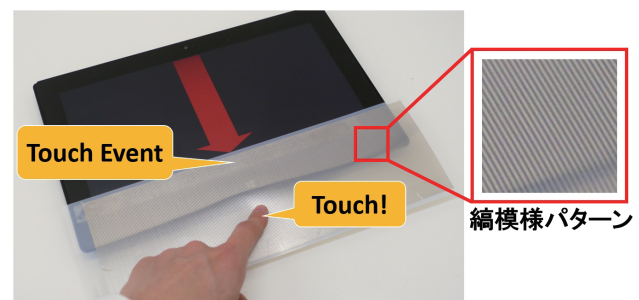


図 1 ExtensionSticker

とで、ユーザの操作を異なる形式に変換し、タッチパネル上に伝えることを実現したことが本研究の貢献である。ユーザは様々なサイズ、形状のインタフェースを安価でかつ容易に作成可能となる。また本研究により、デバイスの動作や使用感を確認するためのプロトタイピングが実現する。

著者らはこれまでに提案手法を用いた数種類のアプリケーション例を示し、提案手法による認識精度について報告をした^{[8], [9], [15]}。本論文ではこれまでに得られた知見をもとにインタフェースの拡張手法を新たに提案し、提案手法が使用可能なパターンの距離など、ExtensionSticker の制約についての議論を行う。

2. 関連研究

スマートフォン等の端末の入力手法を拡張する研究は数多く提案されている。SideSight では、端末の周辺領域を用いたインタラクションを提案している^[1]。端末の側面に赤外線近接センサが配置されており、ユーザは端末の周辺でのジェスチャ入力によって操作をすることができる。SideSwipe では、スマートフォン端末の周辺空間を用いたジェスチャ認識手法を提案している^[3]。スマートフォンが通信の際に使用する GSM 信号を受信するアンテナを端末裏側に設置している。

*1: 明治大学大学院 理工学研究科

*1: Graduate School of Science and Technology, Meiji University

ユーザが端末周辺で手を動かすと信号の一部が反射することを利用し、受信した信号の強弱からジェスチャ操作の認識を行っている。Side Pressure for Bidirectional Navigation on Small Devices では、スマートフォン側面に圧力センサを配置することで、端末側面を用いた入力手法を提案している^[4]。これらの研究では、既存のデバイス上にセンサを付加することで入力インタフェースの拡張を行っている。そのため、これらを実現するためにはハードウェアの実装も必要となり、本研究で目的としているプロトタイピングには向いていない。

同様に外部にセンサを付与することでインタフェースの拡張を行うものとして Midas がある^[13]。Midas ではタッチセンサを使用したデバイスの作成支援システムを提案しており、ユーザが作成したいタッチセンサの形や配置を入力することで、ボタンやスクロール操作が可能なインタフェースをデザインできる。また、デザインしたインタフェースに対し、ソフトウェア上で機能を割り当てることでユーザが望む操作を可能とする。本研究では、Midas と同様に入力を拡張するインタフェースのプロトタイピングを目的としているが、外部センサや回路、PC 上のアプリケーションとの連携が必要なく、より容易に実現が可能である。

その他に、スマートウォッチの操作手法として提案された WatchIt がある^[11]。スマートウォッチのバンド部に複数の位置センサを配置し、ユーザのタッチ入力を検出する。これによって、バンド上でのタッチやスクロールによるスマートウォッチの操作を行っている。Skin Buttons では、スマートウォッチを装着した腕をタッチインタフェースとして使用する手法を提案している^[5]。デバイス側面に配置した赤外線センサによって、ユーザのタッチ操作を検出している。また、小型のプロジェクタを搭載しており、腕上にアイコン等を投影することで皮膚をタッチパネルディスプレイのように使用する操作手法を実現している。BandSense ではスマートウォッチのバンド上でのタッチ操作手法を提案している^[14]。スマートウォッチのバンド部分に複数の圧力センサを配置することで、マルチタッチ入力を可能としており、タップ、フリック操作を行うことができる。この他にも上下のバンドを二本の指でつまむなど様々な入力を実現している。

また、外部にセンサを付加することなく、端末に内蔵されたセンサを活用した入力インタフェースの拡張も行われている。MagGetz は、磁石を内蔵したタンジブルインタフェースを用いた入力手法である^[12]。インタフェース内の磁石が動いた際の磁界の変化を、スマートフォンに内蔵された磁気センサから取得し、操作に割り当てることで実現している。BackTap では、

スマートフォンの背面タップによる操作手法を提案している^[2]。マイクや加速度センサ、ジャイロセンサなど、端末に内蔵されたセンサを用いて実装されており、他にも衣類のポケットに入れた外から端末を叩く動作による入力も可能としている。Acoustruments は、スマートフォン内蔵のマイク、スピーカを用いたタンジブルインタフェースである^[6]。スピーカとマイクが柔らかい管で繋がれており、スピーカは発生させた超音波をマイクから取得する。ユーザがこの管を握るなどの操作を行った際に発生する超音波のスペクトル変化を分析することで、ユーザの動作を判定することができる。また、Acoustruments では把持状態を識別するスマートフォンケースや、インタラクティブな玩具など様々なアプリケーション例を示している。

これらの研究のようにスマートフォンに内蔵されたセンサを活用することで、ソフトウェアの実装のみでインタフェースの拡張を実現できる。これら进行操作するためのタンジブルインタフェースは、近年普及してきている 3D プリンタやレーザカッタなどの機器を活用することででも作成可能である。これに対し本研究では、既に広く一般普及している家庭用のインクジェットプリンタを活用することで、より容易でかつ低コストにインタフェースのプロトタイピングを行うことができる。また、入力のためにタッチパネルを使用するため、画面をスクロールさせる、特定の箇所をタップするなどの簡単な操作であればソフトウェアの実装も必要ないという利点も挙げられる。

本研究と同様に、静電容量式タッチパネルを活用した入力を行うものとしては、Clip-on Gadgets が挙げられる^[10]。Clip-on Gadgets は、導電性ゴムが配置された物理的なボタンやキーボードを持つクリップをスマートフォンなどの端末に取り付けて使用する。ユーザが物理ボタンを押した際に、導電性ゴムが配置された箇所において静電容量を変化させることでタッチ入力を発生させており、触覚フィードバックのあるボタンを実現している。しかし、クリップを端末に固定する都合上、導電部を配置した特定の箇所ではしかタッチ入力を発生させることができない。また、Clip-on Gadgets では、クリップ上に配置したダイヤルによって導電部を物理的に動かし、連続的なタッチ入力を行う例も挙げているが、配置した導電部自体を動かさないという点で提案手法とは根本的に異なっている。

他にも、連続的なタッチ入力を可能とする手法として上海問屋から販売されたフィンガータッチパッド¹がある。フィンガータッチパッドは縞模様状に導電部が配置されたインタフェースを画面端に貼り付けるこ

1: フィンガータッチパッド:
<http://www.donya.jp/item/25894.html>

とで、導電部の貼り付けられた範囲内の任意の箇所までタッチ入力が発生させることができる。本研究で提案する手法は、フィンガータッチパッドと同様に縞模様状に導電部を配置することで連続的なタッチ入力を実現しており、基本的な原理自体は共通している。提案手法では、タッチパネル外からのスクロール操作を実現するだけでなく、ダイヤルインタフェースなど様々な形式にタッチインタフェースの拡張を可能とする。更に、この縞模様パターンを導電性インクによって実装することで、ユーザが容易にインタフェースのプロトタイプを行う環境を実現する。

3. 提案手法

本研究では細い導電性の線を複数並べることでタッチ入力が発生させる手法を提案する。単体ではタッチ入力が発生できないような細い導電部を縞模様状に印刷したシートをタッチパネル上に貼り付ける。ユーザがこの導電部上でタッチ操作を行った際、タッチパネル上のシートが貼り付けられた箇所においてタッチ入力が発生させることができる(図2)。これにより、インタフェースを貼り付けた任意の箇所においてタッチ入力が発生させるだけでなく、スクロール操作のような連続的なタッチ入力を可能とした。また、提案手法を用いた応用例として、タッチパネル上での操作を拡張するインタフェース、“ExtensionSticker”を実装した。ExtensionStickerをタッチパネルディスプレイ上に貼り付けることで、タッチパネル上のインタフェースを様々な形式に拡張することができる。なお、本研究では導電性インクとして銀ナノ粒子インク(三菱製紙, NBSIJ-MU01)を使用している。

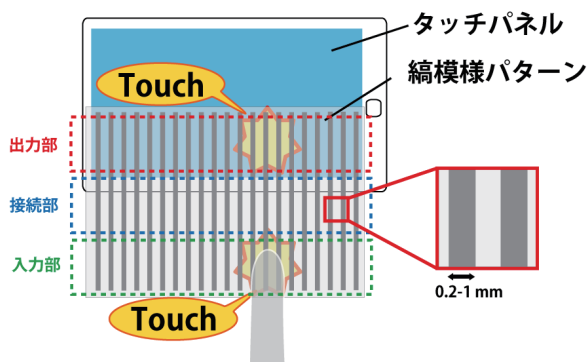


図2 提案手法: 複数の細い導電部を指でまたいで触れることでタッチ入力が発生させる

3.1 静電容量式タッチパネル

今日、市販されているスマートフォンやタブレット端末などのタッチパネルデバイスの多くは、静電容量式によるタッチ検出が採用されている。静電容量式のタッチ検出手法は SmartSkin^[7] において提案され、そ

れ以降、数多くの研究においても利用されてきた。この手法では、静電容量方式のタッチパネルに人体などの接地された導電体が接近したことを検知することで、タッチ認識を行う。タッチパネル内部に透明な電極が格子状に配置されており、これらの電極は一方が信号の送信、もう一方が信号の受信の役割を担っている。送信側電極には信号が印加されており、受信側電極との交差点において静電結合をしている。静電結合されている箇所において、人体などの接地された導電体が接近すると、その電極間における静電容量に変化が生じる。この変化量を計測することでタッチ入力数や、入力位置を認識する。また、静電容量式のタッチパネル上でタッチ入力を行う際、ユーザは直接指でディスプレイを触れずとも、金属や導電性ゴムなどの導電体を介してタッチ入力が発生させることができる。

一方で、こうした導電体を介してタッチ入力が発生させるにはいくつかの制約がある。まず、市販されているタッチパネルデバイスは、人間の指によるタッチ入力に最適化され、ユーザの意図しないタッチ入力を防ぐ仕組みが設けられていることがある^[17]。そのため多くのタッチパネルデバイスでは、導電部の接触面が狭すぎるなどの理由で静電容量の変化を十分に起こすことができない場合、タッチ検出を行うことができない。逆に導電部の接触面が広すぎる場合、その領域内でタッチ入力が発生する箇所を制御できなかつたり、そもそもタッチ入力として認識されない。

3.2 連続入力発生原理

著者らはこれまでに複数の端末 (Apple iPad, iPad 2, iPad mini, iPhone 5, Samsung Galaxy Note Edge, ASUS Nexus 7, Sony VAIO Pro11, VAIO Type T, MS Surface Pro 1, Surface Pro 3) を用いて、導電部が0.5 mm程度の細い線であれば、タッチ入力が発生させることなく、タッチパネル平面上に配置可能であることを示した^[16]。これはタッチパネルの原理上、導電部が細い線や面積の小さい点であった場合、人体などの接地された物体が接触しても、タッチ検出をするために十分な静電容量の変化が起きないことが原因である。

本手法では単体ではタッチ入力が発生しないような細い導電部を密集させることで、タッチ検出に必要な静電容量を変化させる。ユーザがこの線の内、数本を一本の指で触れることで、それらの線が同時に接地され、一点のタッチ入力として認識させることができる。また、ユーザがこの縞模様パターン上で指をスライドさせる操作をすると、指と接触している導電部が順にずれていく。そのため、発生させたタッチ入力を途切らせることなくスクロール操作のような連続的なタッチ入力が可能となる。

図3にタッチパネル上と、縞模様パターン上をタッチした状態で指を左右に傾けたときのタッチ入力座標を表示した様子を示す。提案手法では、こうした指先の微細な動きによるタッチ入力領域の変化においても連続的タッチ入力が可能となる。

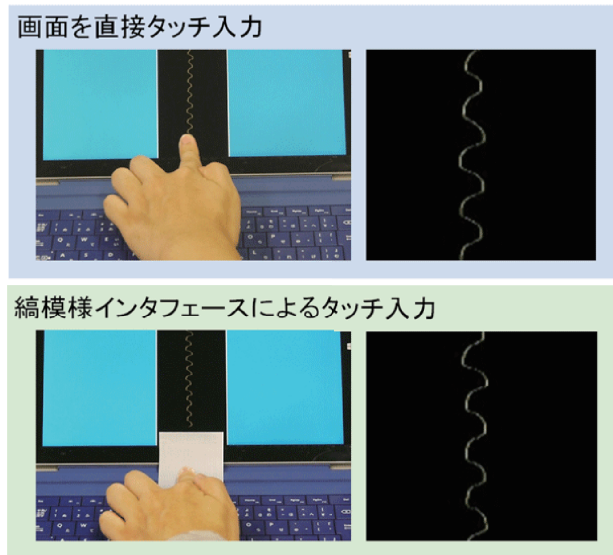


図3 指先の微細な動きによる連続的タッチ入力

4. ExtensionSticker によるタッチパネルの拡張

本章では提案手法を応用したインタフェース，“ExtensionSticker”について述べる。ExtensionStickerはタッチパネルディスプレイに貼り付けるだけで、タッチパネルを様々な形式に拡張することのできる縞模様パターンインタフェースである。ExtensionStickerは、タッチ入力が発生させる箇所（出力部）とユーザが直接タッチを行う入力部、それらを繋ぐ接続部からなる。ユーザがシート的一端（入力部）をタッチすることで、シートを貼り付けた箇所（出力部）にタッチ入力が発生する。

また ExtensionSticker は縞模様パターンの形状を変えることで、様々な形式の入力インタフェースに拡張することができる。以下ではインタフェースの拡張例として、タッチ入力位置の拡張、タッチ操作の拡張、タッチ方法の拡張、タッチパネル上での動作拡張の4種類について説明する。図4に各手法の概略図を示す。これらの拡張手法によって、タッチパネル内のインタフェースを、タッチパネルディスプレイ外に形状を変えて実世界上に再配置することを可能とする。

4.1 タッチ入力位置の拡張

タッチ入力位置の拡張手法では、インタフェースとして導電性インクによって縞模様パターンを印刷したシートを用いる。出力部をタッチパネルに貼り付け、シートを折り曲げるようにして入力部を端末の側面（または背面）に届くよう貼り付ける（図4 a）。これ

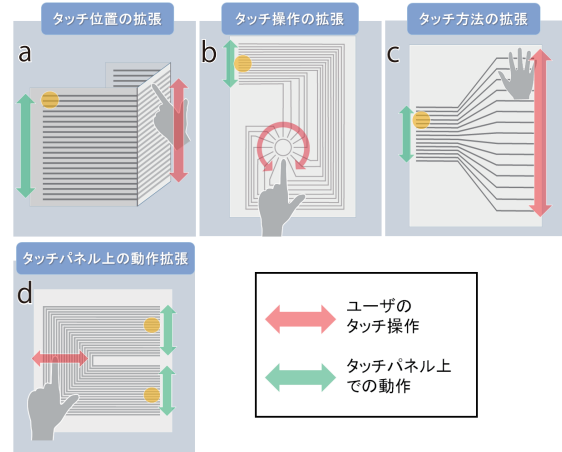


図4 入力インタフェースの拡張手法: 入力位置の拡張 (a), 入力操作の拡張 (b), 入力方法の拡張 (c), タッチパネル上の動作の拡張 (d)

により、スマートフォンやタブレット端末などの側面（背面）をタッチインタフェースとして使用することが可能となる（図5左上）。ユーザは Web ブラウザなどを閲覧する際、指で画面を隠すことなくスクロール操作を行うことができる。

この手法はその他にも様々なデバイスに対して有効である。例えば、スマートウォッチのような小型ディスプレイを持つデバイスに適用することで、バンド部分を入力インタフェースに拡張することができる（図5右上）。他にもデジタルカメラに ExtensionSticker を貼り付けることで三脚をタッチすることでズーム操作を行う（図5左下）、ノートパソコンに搭載されているタッチパッドに貼り付けることで PC を置いている机上を入力インタフェースとして拡張する（図5右下）といったことが実現可能となる。

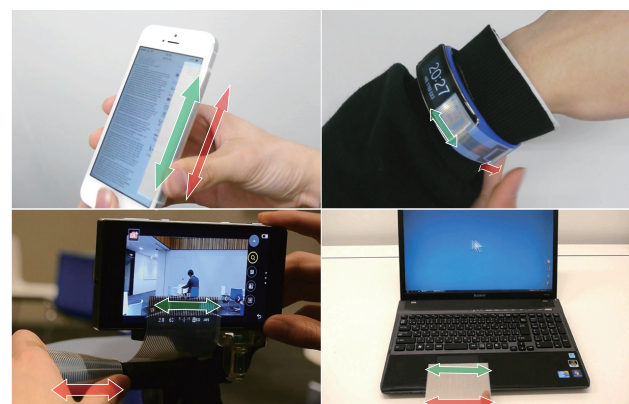


図5 タッチ入力位置の拡張: スマートフォンの側面入力 (左上), スマートウォッチのバンドを用いた入力 (右上), 三脚によるデジタルカメラのズーム操作 (左下), タッチパッド上での使用 (右下)

4.2 タッチ入力操作の拡張

タッチ入力操作の拡張手法では ExtensionSticker の入力部、及び接続部の配置パターンを変えることで、ユーザの入力操作を拡張する。例えば、図 4 b のように入力部が円形になるように等間隔に配置し、それらを出力部に接続するユーザは円形に配置された入力部を指でなぞる回転操作をすることで、上下に連続的なタッチ入力を発生させることができる (図 6)。

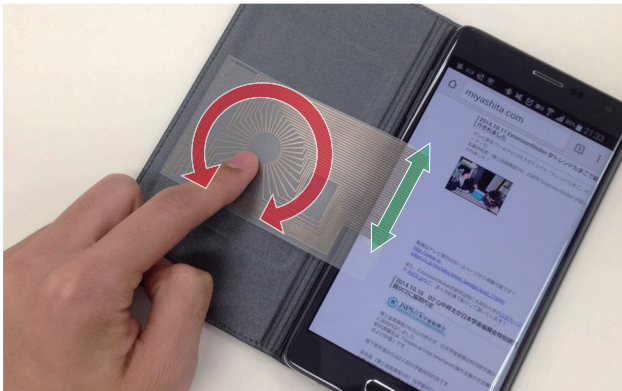


図 6 回転操作からスクロール入力への変換

4.3 タッチ入力方法の拡張

タッチ入力方法の拡張手法では、出力部に対し、入力部の縞模様の間隔を広げることでタッチ入力方法を拡張する (図 4 c)。これによりユーザが手の平を使って行ったタッチ操作を、指先でのタッチ操作に変換することができる。例えば、スマートフォン画面を大型のディスプレイに映し、これら二つの画面にシートを貼り付けることで、大型ディスプレイの横を手でスクロールするといったことが実現できる。図 7 では、大型のディスプレイに貼り付けたシートから、タブレット端末上へのタッチ入力を行っている。この手法を用いることで、ユーザが実際に行う操作に対して、タッチパネル上で行われる動作速度の調整を実現した。

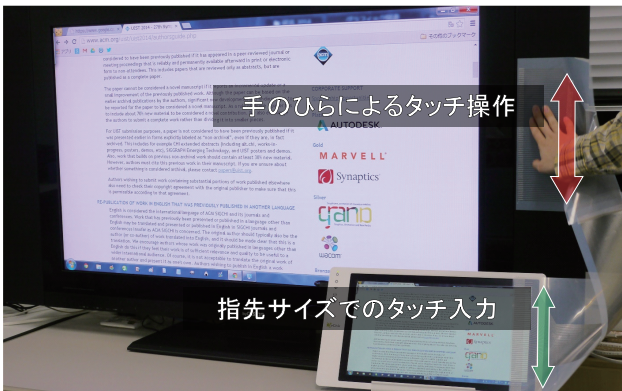


図 7 非タッチパネルディスプレイの画面横によるスクロール操作

4.4 タッチパネル上の動作拡張

タッチパネル上の動作拡張手法では、出力部の配置パターンを変えることで、ユーザの操作に対して実際にタッチパネル上で行われる動作の拡張をする (図 4 d)。この手法では、一箇所の入力部に対し複数の出力部をタッチパネルディスプレイ上に貼り付ける。これにより一度のユーザの操作に対して複数箇所において同時にタッチ入力を発生させることができる。図 8 は、コの字型に印刷したパターンで二箇所の出力部をタッチパネルに貼り付けた例である。ユーザがコの字の中央にある入力部でスクロール操作をすると、二箇所の出力部においてそれぞれ逆向きの連続的なタッチ入力が発生する。これにより、ピンチ操作を実現することができ、ユーザは片手だけでズーム操作をすることが可能となる。



図 8 片手でのスクロールによるズーム操作

5. 評価実験

提案手法では、細い縞模様状に配置した導電部によってタッチ入力を発生させる。そのため、単体の導電部ではタッチ入力が発生しない程度の太さであり、かつ複数の導電部でタッチ入力を発生させる程度に密集している必要がある。ここでは、タッチ入力を発生させるために適した導電部の太さ (印刷幅) と間隔について調査を行うため、縞模様パターンシートを用いたタップ操作及び、スクロール操作の認識精度について評価実験を行った (図 9)。

5.1 認識精度

まず、縞模様パターンによるタッチ入力の認識精度について調査を行った。異なる太さ、間隔の縞模様パターンを印刷したシートをタッチパネルディスプレイ端に貼り付ける。この際、人間の指先程度の大きさを想定し、シートの貼り付け幅を 10.0 mm とした。被験者は図 10 のように縞模様パターン上でタップ、及びスクロール操作を行う。実験では印刷する縞模様の線の太さを 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mm, 線の間隔を 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm とし、それらを組み合わせた縞模様

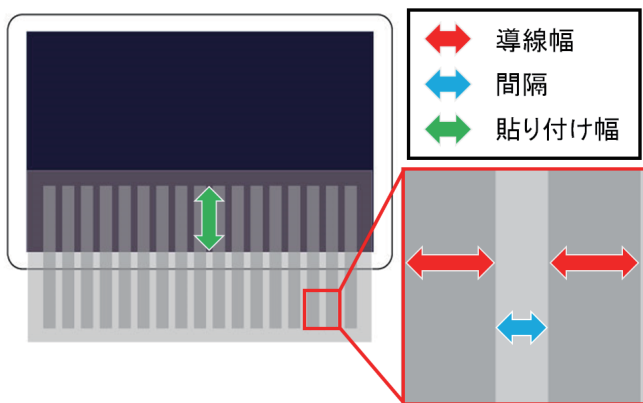


図9 印刷する導線の一本の横幅を「導線幅」、隣あう導線同士の距離を「間隔」、シートを貼り付けた際にタッチパネルディスプレイ上に接触する導線部の長さを「貼り付け幅」とする

パターンシートを使用する。線の太さについては、印刷に使用するプリンタの精度によっては 0.1 mm 以下で印刷すると断線してしまう恐れがあるため、0.2 mm を下限とした。また、著者らはこれまでに、導電性インクにより印刷する導電部の太さを 1.0 mm 以上に設定すると、線単体でタッチ入力が発生させてしまうことがあることを示しているため、本実験においても 1.0 mm を上限とした^[16]。

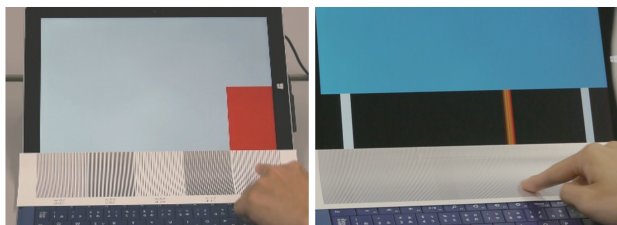


図10 実験の様子: タップ操作実験 (左), スクロール操作実験 (右)

タップ操作実験では、同様に貼り付けられたシート上の特定箇所を連続でタップし、認識に失敗した回数をエラーとして認識率を求める。試行回数は各シートに対し 20 回ずつタップ操作を行う (図 10 左)。

またスクロール操作実験では、一定の速度でディスプレイの左端から右端まで移動するバーを表示する。被験者はこのバーの位置を目安にシート上でスクロール操作を行う。移動するバーがスタート位置からゴールまで移動する間にタッチ入力が途切れていた時間をエラーとし、認識率を求める。試行回数は、各シートに対し 10 回ずつスクロール操作を行う (図 10 右)。

いずれの実験も、太さと間隔の組み合わせは無作為な順序で行った。実験環境には、Microsoft Surface Pro 3 (解像度 2160 × 1440, 12 インチ) を用いた。シート印刷には銀ナノ粒子インク専用透明 PET 用紙 (三

菱製紙 NB-TP-3GU100) を使用し、幅 10.0 mm の両面テープ (ニチバン株式会社 NW-10, 厚さ 0.09 mm) を用いてディスプレイに貼り付けた。被験者は 10 名で、全員がスマートフォンなどのタッチパネル端末の使用経験のある大学生及び大学院生である。

結果

それぞれの実験結果を図 11 に示す。タップ操作では太さ 0.2, 0.6, 1.0 mm の場合、間隔が 0.5 mm で 97 % 以上の精度で認識成功した (図 11 左)。太さ 0.4, 0.6 mm の場合でも、間隔が 1.0 mm の場合に 90 % 以上の精度で認識成功しており、結果にかなりばらつきが生じた。スクロール操作では、縞模様の線の太さに関わらず間隔が 0.5 mm で 95 %, 1.0 mm でも 90 % 以上の精度で認識に成功しており、この内太さ 0.4 ~ 1.0 mm の縞模様パターンはいずれも 99 % 近くの精度で認識に成功した (図 11 右)。

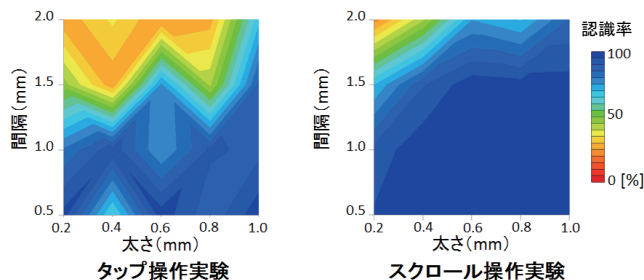


図11 実験結果: タップ操作実験 (左), スクロール操作実験 (右)

5.2 他機種での使用

Microsoft Surface Pro 3 を用いた実験に加え、iPad mini 及び iPhone 5 を用いて同様のタップ操作実験を被験者 5 人 に対して行った。

実験の結果、どちらのデバイスも Surface Pro 3 での実験と同様に縞模様の間隔が広く、太さが細くなるにつれ認識精度が下がる結果となった (図 12)。また、間隔を 0.5, 1.0 mm に設定した場合、ほぼ 100 % の精度で認識に成功した。

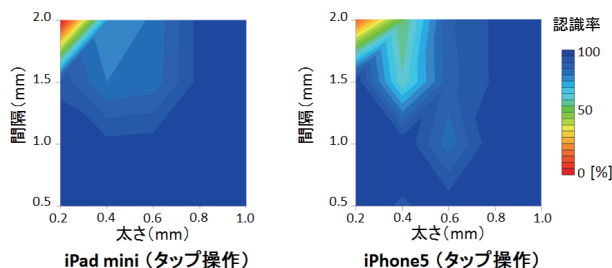


図12 実験結果: iPad mini, iPhone 5 でのタップ実験

更に、これ以外の市販されている様々なタッチパネル端末において、縞模様パターンを用いたスクロール操作が可能であるかについての検証を行った。使用したデバイスは Apple iPad, iPad 2, iPad mini, iPhone 5, Samsung Galaxy Note Edge, Gear Fit, ASUS Nexus 7, Lenovo MIIX 2 8, SONY VAIO Pro 11, VAIO Type T, Microsoft Surface Pro, Surface Pro 3, GeChic マルチタッチ対応モバイルモニターである。また検証の際、タッチ認識の感度を上げる機能等は使用しない状態で検証を行った。検証には、太さ 0.5, 1.0 mm, 間隔 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mm の組み合わせの合計 10 パターンのシートを使用した。このとき、シートの貼り付け幅は 10.0 mm とした。被験者は 1 名であり、各シートをデバイス上に貼り付けてスクロール操作を行う。

それぞれのデバイスにシートを貼り付けてスクロール操作を行ったところ、全てのデバイスにおいて操作可能であることが確認された。

5.3 タッチ認識可能なインタフェースの長さ

今回、認識精度の評価実験では数センチ程度の長さの縞模様パターンインタフェースを使用した。しかし、入力部と出力部の距離が離れるにつれ、ユーザが縞模様パターンに触れた際にタッチパネルとの接触面で起こる静電容量の変化が減衰するため、タッチ認識精度も下がることが予想される。そこで、端末に貼り付けた縞模様パターンインタフェースがタッチ入力可能な導電部の長さについて検証を行った。被験者は 1 名であり、長さが 200.0, 400.0, 600.0, 800.0, 1000.0 mm の縞模様パターンインタフェースをそれぞれタッチパネルデバイスに貼り付け、タップ及びスクロール操作ができるかを検証した。

検証を Microsoft Surface Pro 3 で行った場合、長さ 400.0 mm までは安定してタッチ認識に成功した。また、これまでの実験で使用したデバイスの中でも最も認識精度が高かった GeChic マルチタッチ対応モバイルモニターを用い同様の検証を行ったところ、長さ 800.0 mm までは安定した操作が可能であり、長さ 1000.0 mm でも不安定ではあるがタッチ認識に成功した。

6. 議論

6.1 評価実験についての考察

まず 5.1 節の実験から、タップ及び、スクロール操作の両実験で印刷する縞模様の間隔が広がるほど認識精度が下がる結果となった。

また、タップ操作実験において、MS Surface Pro 3 を用いた際、太さ 0.4, 0.8 mm に比べて太さ 0.6 mm の場合に精度が上がる、iPhone 5 を用いた際、太さ 0.4 mm の場合に認識精度が下がるなど、結果には

らつきが生じた。ExtensionSticker では複数の細い導電部をまたいで触れることで一つのタッチ入力を生じさせているため、被験者の指の幅やタップする位置によって指との接触領域の面積が変化してしまう。これによってタッチ認識精度にばらつきが生じてしまったと考えられる。しかし一方で、タップ操作実験では精度が下がっている太さ 0.4, 0.8 mm 場合でも、スクロール操作実験では、高い精度で操作を行うことに成功している。このことから、スマートフォンなどの端末は一度タッチ入力検出された際に、それ以降タッチパネル上に触れた状態を維持して操作を行う可能性を考慮し、タッチ検出のための静電容量変化のしきい値を調整していると考えられる。

また、タップ操作で認識精度が高い箇所は、スクロール操作でも同様に高い精度で操作を行うことに成功していることが分かる。このことから、iPad mini, iPhone 5 を用いた実験では、タップ操作実験のみを行い、スクロール操作については詳細な実験を省略した。実験結果から、iPad mini, iPhone 5 を用いた場合でも、印刷する縞模様の間隔を広くするほど認識精度が下がる結果となった。

縞模様パターンインタフェースを、13 種類の異なるタッチパネルデバイス上で使用できることを確認したが、太さと間隔の組み合わせによってはタッチ認識精度が下がるものも確認された。今回、Microsoft や Samsung, Apple, SONY などの複数社のスマートフォン、タブレット、スマートウォッチ、外部ディスプレイなど異なる複数のデバイスを使用した。こうしたタッチパネル端末は、開発元や機種によってタッチ検出を行うための静電容量の変化のしきい値調整や、デバイス自体の認識性能、認識アルゴリズムなどが異なると考えられる。このことから太さ・間隔については、実験結果から得られたパラメータを用いることで高精度での操作が可能となるが、使用するデバイスによってはある程度調整する必要があるといえる。

印刷する縞模様パターンの長さについては、5.3 節の実験結果から短いものほど認識精度が高いことが分かる。数センチ程度であれば影響は少ないが、数十センチ以上の縞模様パターンを使用する場合はタッチ認識感度の良いデバイスを使用する必要がある。しかし、これについては Samsung Galaxy Note Edge のように、デバイス上でタッチパネルの感度を調整ができる機能を使用することで改善の余地があると考えられる。

また、今回使用した 200.0 ~ 1000.0 mm の縞模様パターンについて、それぞれ端から端までの抵抗値を測定したところ、導線一本あたりの平均が 51.9 Ω , 109.7 Ω , 163.8 Ω , 227.1 Ω , 296.9 Ω という結果になった。本論文では、銀ナノ粒子インクと家庭用のイ

ンクジェットプリンタを用いたプロトタイピングを行ったが、この他にも著者らはアルミやカーボンなどの導電性インクを用いた提案手法についても検証を行っている。その結果からアルミを使用した場合に、銀ナノ粒子インクを用いた場合よりも高い精度でタッチ認識に成功していることがあり、タッチ認識精度の変化は抵抗値によるものではない可能性も示唆している。抵抗値や、印刷する素材の違いによる認識精度など、提案手法を適用する環境ごとに調査も必要であると考えている。

6.2 貼り付け幅についての考察

静電容量方式のタッチパネルに金属箔などの導電部を介してタッチ入力を行う際、接触面が人間の指先程度の大きさであれば一点としてタッチ認識をさせることが可能である。しかしこの接触面を広げていくと、タッチ箇所が一点に定まらずタッチ箇所の制御ができなくなる。ExtensionSticker では、導電部を縞模様状に配置することで縞模様の垂直方向（以降 X 軸方向）でのタッチ位置の制御を可能とした。しかし、現状では縞模様の平行方向（以降 Y 軸方向）での制御はできておらず、縞模様インタフェースを貼り付ける幅によっては Y 軸方向での入力位置にブレが生じてしまう（図 13）。

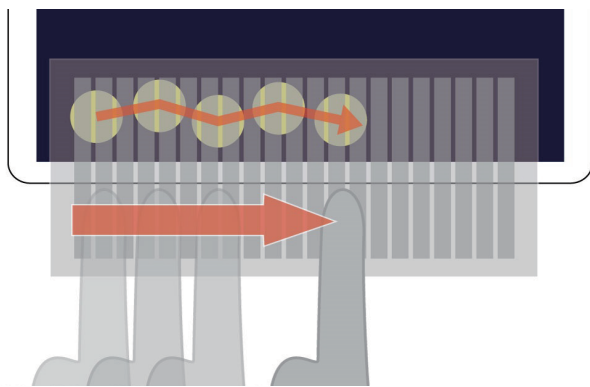


図 13 スクロール操作時のタッチ位置のブレ

そこで、今回評価実験において人間の指先程度の大きさとして仮定した ExtensionSticker の貼り付け幅 10.0 mm に設定した際の Y 軸方向での入力位置のブレについて検証を行った。縞模様パターンインタフェースを用いた場合と、指でタッチパネルを直接接触した場合のスクロール操作について、1 フレームごとのタッチ座標 Y 軸方向の移動量を比較する。なお本検証では、5.1 節で行った実験において最も認識率の高かった太さ 0.6 mm、間隔 0.5 mm の縞模様パターンを使用した際のデータを用いた。

その結果、縞模様パターンインタフェースを用いた場合のフレーム単位での Y 軸方向平均移動量は平均

0.35 px (約 0.04 mm, 標準偏差 0.07), 最大移動量の平均が 2.25 px (約 0.27 mm, 標準偏差 0.55) であった。また、タッチパネルを直接接触した状態でのスクロール操作では、Y 軸方向平均移動量は平均 0.43 px (約 0.05 mm, 標準偏差 0.29) で、最大移動量の平均が 3.11 px (約 0.37 mm, 標準偏差 1.95) であり、双方に大きな差は見られなかった。今回、仮定した貼り付け幅 10.0 mm の条件であっても、タッチパネルを直接接触したときの操作と近い精度でスクロール操作が可能であることがわかる。

貼り付け幅を 4.0, 6.0, 8.0 mm に設定した条件下においても、スクロール実験と同様のタスクを行い、簡単な調査を行ったが、ブレ幅は 10.0 mm と同程度であった。しかし、貼り付け幅が 4.0 mm のときのみ、残りのパラメータに比べ認識精度が下がることがあった。これは、縞模様パターンのタッチパネルとの接触面積が小さくなり、タッチ認識のために十分な静電容量の変化が起これなくなっていることが原因であると考えられる。これらのことから、提案手法を使用する際、貼り付け幅を 6.0~10.0 mm に設定するのが適切であると考えられる。

6.3 ExtensionSticker とタッチパネルの接触方法について

本研究で提案した手法では、縞模様パターンが印刷されている範囲内であれば、任意の箇所にタッチ入力を発生させ、連続的なタッチ入力を可能とした。そのため、印刷用紙の反りや、インタフェースが浮いてしまうとタッチ入力が途中で途絶えてしまうことがある。このことを考慮し、提案手法の応用例として述べた“ExtensionSticker”はタッチパネルディスプレイ上に貼り付けて使用することを前提としている。今回、ExtensionSticker をタッチパネルに接触させる方法として、両面テープを使用した。この他にも Clip-on Gadgets^[10]のようなクリップ状の物体によって固定するなどの手法によっても実現可能である。

6.4 ExtensionSticker の制約について

縞模様パターンインタフェースの制約として、画面の視認性の低下がある。現状では、印刷に使用する導電性インクに銀ナノ粒子インクを使用しているため、シートを貼り付けた領域が隠れてしまう。これは、透明導電性インクや ITO などの透明な素材を用いることで解決できる。6.2 節で述べたように現状の縞模様パターンインタフェースは、縞模様の平行方向へのタッチ位置の制御をするために出力部の貼り付け幅を調整する必要がある。また、シートの貼り付けによるタッチ誤認識を避けるためには、接続部及び入力部がタッチパネルに接触しないように貼り付ける必要があった。これらのことから、縞模様パターンインタフェースを

貼り付けてタッチ入力を行うことのできる箇所は、タッチパネルディスプレイの枠から 10.0 mm 程度の範囲内に限られてしまう。そのため、ディスプレイ枠より内側にシートを貼り付けて、タッチ入力を発生させることが難しいという制約がある。

これに対しては、縞模様パターンインタフェースを作成する際の、太さや間隔のパラメータを調整する方法が考えられる。実験から、接続部を細く、間隔を広くした場合にはタッチ認識精度が低下することが示された。これを利用し、内側の特定の箇所に縞模様パターンを配置することで、ディスプレイの内側の箇所においてスクロール操作を可能な領域を作ることができると考えられる。

7. まとめ

本研究では、導電性インクによって連続的タッチ入力を実現するインタフェースの作成手法を提案した。縞模様状のパターンを印刷することで、任意の箇所におけるタッチ入力だけでなく、連続的なスクロール操作を可能とした。また、提案手法を用いることでタッチパネルを拡張するインタフェース、“ExtensionSticker”を実装した。ExtensionSticker では、縞模様パターンの配置を変えることで、タッチパネル上の入力インタフェースを様々な形式に拡張することができる。その応用例として、タッチ入力位置の拡張、タッチ操作の拡張、タッチ方法の拡張、タッチパネル上での動作拡張の 4 種類について述べた。

また Microsoft Surface Pro 3 を用いて、本手法による操作の認識率について評価実験を行った結果、タップ・スクロールの両実験において、縞模様パターンの間隔が広くなるにつれ認識精度が下がることが確認された。タップ操作では太さ 0.2, 0.6, 1.0 mm, 間隔 0.5 mm で 97 % 以上、スクロール操作では、縞模様の線の太さに関わらず間隔 0.5 mm で 95 %, 1.0 mm でも 90 % 以上の精度で認識に成功した。同様の実験を iPad mini, iPhone 5 でも行った結果、間隔を 0.5, 1.0 mm に設定した場合、ほぼ 100 % の精度で認識に成功した。また、特に精度の高いパラメータを使用した縞模様パターンインタフェースを用いることで、提案手法が市販されている様々なタッチパネルデバイス上で使用できることを示した。本研究により、タッチパネルを拡張する様々なインタフェースを作成し、安価でかつ容易にプロトタイピングが可能な環境を実現した。

今日、3D プリンタやレーザカッタなどを代表とする機器の登場により、デジタルファブリケーション技術を活用したモノ作りが普及している。これらの機器を活用することで、「ただの実物体」としてモノを出

力するだけでなく、インタラクティブなデバイスの作成や、既存のデバイスを拡張するなどといったユーザの需要をユーザ自身がモノ作りによって実現する試みがなされている。デジタルファブリケーション技術に加え Arduino² を代表とするマイクロコンピュータボードや、ブロック状のモジュールを繋げるだけで扱える littleBits³ などによって電子工作に対するハードルが低くなってきていることから、こうした試みは今後も活発に行われていくことが予想される。

こうした、ユーザ個人が必要とするモノをユーザ自身が実現するといった環境においても、デバイスの動作や使用感を確認するためのラピッド・プロトタイピングがより重要性を増してくるであろう。本研究で提案した ExtensionSticker はスマートフォンやタブレット、スマートウォッチなどのタッチパネルインタフェースを拡張するデバイスのプロトタイピングに貢献した。今後はこの他にも様々なデバイスのプロトタイピング手法としても検討していく。

参考文献

- [1] Alex Butler, Shahram Izad, Steve Hodges: SideSight: multi-“touch” interaction around small devices, In *Proc. UIST’08*, pp.201-204, (2008).
- [2] Cheng Zhang, Aman Parnami, Caleb Southern, Edison Thomaz, Gabriel Reyes, Rosa I. Arriaga, Gregory D. Abowd: BackTap: Robust Four-Point Tapping on the Back of an Off-the-shelf Smartphone, In *Adjunct Proc. UIST’13*, pp.111-112, (2013).
- [3] Chen Zhao, Ke-Yu Chen, Md Tanvir Islam Aumi, Shwetak Patel, Matthew S. Reynolds: SideSwipe: Detecting In-air Gestures Around Mobile Devices Using Actual GSM Signals, In *Proc. UIST’14*, pp.527-534, (2014).
- [4] Daniel Spelmezan, Caroline Appert, Olivier Chapuis, Emmanuel Pietriga: Side Pressure for Bidirectional Navigation on Small Devices, In *Proc. MobileHCI’13*, pp.11-20, (2013).
- [5] Gierad Laput, Robert Xiao, Xiang ‘Anthony’ Chen, Scott E. Hudson, Chris Harrison: Skin Buttons: Cheap, Small, Low-Power and Clickable Fixed-Icon Laser Projections, In *Proc. UIST’14*, pp.389-394, (2014).
- [6] Gierad Laput, Eric Brockmeyer, Scott E. Hudson, Chris Harrison: Acoustruments: Passive, Acoustically-Driven, Interactive Controls for Handheld Devices, In *Proc. CHI’15*, pp.2161-2170, (2015).
- [7] Jun Rekimoto: SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces, In *Proc. CHI’02*, pp.113-120, (2002).
- [8] Kunihiro Kato, Homei Miyashita: Extension Sticker: A Method for Transferring External Touch Input Using a Striped Pattern Sticker, In *Adjunct Proc. UIST’14*, pp.59-60, (2014).

2: Arduino: <https://www.arduino.cc/>

3: littleBits: <http://littlebits.cc/>

著者紹介

- [9] Kunihiro Kato, Homei Miyashita: Extension-Sticker: A Proposal for A Striped Pattern Sticker to Extend Touch Interfaces and its Assessment, In *Proc. CHI'15*, pp.1851-1854, (2015).
- [10] Neng-Hao Yu, Sung-Sheng Tsai, I-Chun Hsiao, Dian-Je Tsai, Meng-Han Lee, Mike Y. Chen, Yi-Ping Hung: Clip-on Gadgets: Expanding Multi-touch Interaction Area with Unpowered Tactile Controls, In *Proc. UIST'11*, pp.367-372, (2011).
- [11] Simon T. Perrault, Eric Lecolinet, James Eagan, Yves Guiard: WatchIt: Simple Gestures Kand Eyes-free Interaction for Wristwatches and Bracelets, In *Proc. CHI'13*, pp.1451-1460, (2013).
- [12] Sungjae Hwang, Myunwook Ahn, Kwang-yun Wohn: MagGez: customizable passive tangible controllers on and around conventional mobile devices, In *Proc. UIST'13*, pp.411-416, (2013).
- [13] Valkyrie Savage, Xiaohan Zhang, Bjorn Hartmann: Midas: Fabricating Custom Capacitive Touch Sensors to Prototype Interactive Objects, In *Proc. UIST'12*, pp.579-588, (2012).
- [14] Youngseok Ahn, Sungjae Hwang, HyunGook Yoon, Junghyeon Gim, Jung-hee Ryu: Band-Sense: Pressure-sensitive Multi-touch Interaction on a Wristband, In *Proc. CHI EA'15*, pp.251-254, (2015).
- [15] 加藤邦拓, 秋山耀, 宮下芳明: タッチ入力の柔軟な再配置を可能としたインタフェースの作成支援, 第 22 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 2014) 論文集, pp.151-152, (2014).
- [16] 加藤邦拓, 宮下芳明: 紙窓: カード内領域を独立したタッチパネルディスプレイのように扱うインタフェース, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.17, No.3, pp.245-254, (2015).
- [17] 中島康祐, 伊藤雄一, Simon Voelker, Christian Thoresen, Kjell Ivar Øvergård, Jan Borchers: PUCs: 静電容量方式マルチタッチパネルにおけるユーザの接触を必要としないウィジェット検出手法, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.1, pp.329-337, (2015).

加藤 邦拓



2013 年 明治大学理工学部情報科学科卒業。2015 年 明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻デジタルコンテンツ系博士前期課程修了。現在, 明治大学大学院博士後期課程に在籍。2015 年より同大学理工学部助手, 現在に至る。

宮下 芳明 (正会員)



千葉大学工学部卒業(画像工学), 富山大学大学院で音楽教育を専攻, 北陸先端科学技術大学院大学にて博士号(知識科学)取得, 優秀修了者賞, 2007 年度より明治大学理工学部に着任。2009 年度より准教授。2013 年より同大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科所属。2014 年より教授, 現在に至る。日本ソフトウェア科学会, VR 学会, ヒューマンインタフェース学会, 情報処理学会, ACM 各会員。

(2015 年 7 月 31 日受付, 11 月 10 日再受付)