

# 印刷情報を読み取るための“透明な板”： リモコンに搭載しやすい読み取り装置の構成

前田 篤彦<sup>†</sup> 原 謙治<sup>‡</sup> 小林 稔<sup>†</sup> 阿部 匡伸<sup>†</sup>

電子ディスプレイを用いない、リモコンに搭載しやすい新しい印刷情報読み取り方式である ClearPlate を提案する。ClearPlate は、リモコンの透明な部分を読み取りたい範囲に重ねるだけでリモコン内部に搭載されたカメラを適切に位置／ピント合わせできる、安価で使いやすい読み取り方式である。評価実験の結果、電子ディスプレイを用いた携帯電話の二次元コードリーダー以上の高い操作性が得られることと、その性能が Fitts の法則の修正式で表せることが明らかになった。

## “ClearPlate” for Reading Printed Information: Architecture of a Reader Installable on Remotes

ATSUHIKO MAEDA<sup>†</sup> KENJI HARA<sup>‡</sup> MINORU KOBAYASHI<sup>†</sup> MASANOBU ABE<sup>†</sup>

We present ClearPlate — a new printed information reader, without an electronic display, easy to install on remote controls. In ClearPlate, by just putting the clear part of the remote on the target, users can easily point the remote's camera to the target, and focus the camera. We also present user study that evaluates ClearPlate performance in 2D code acquisition tasks. Results show that ClearPlate significantly outperforms the 2D code reader with camera phone, and that ClearPlate performance can be accurately modeled and predicted using modified Fitts' law.

### 1. はじめに

ネットワーク対応テレビやビデオオンデマンド用セットトップボックスの登場により、好みの映画やドラマを好きな時にダウンロードして楽しむことが可能となったが、このようなサービスでは利用者宅に定期的に送られてくるカタログ冊子が、視聴するコンテンツを選ぶ際に役立っている。つまり、利用者は冊子をめくって様々な映画やドラマなどの情報を眺め、見たいコンテンツを選ぶのである。

現在のところ、冊子で紹介されているコンテンツを視聴するには、一緒に記載されているコンテンツ番号をリモコンでキー入力する等の操作が必要である。しかし、コンテンツの数が膨大になるにつれ、番号の入力は面倒になる。そのため、リモコンで冊子の情報（二次元コードや活字等）を一瞬で読み取り、対応するコンテンツを呼び出すことが出来ると便利である。さらにこのような行為がユーザにとって苦なく頻繁に行なえるようになれば、サービス提供者は、コンテンツ紹介そのものを動画として呼び出せるようにするこ



図 1 ClearPlate による印刷情報の読み取り

となども無理なく実現できよう。しかし、印刷情報を読み取るためのセンサーを最低限リモコンに搭載する必要はあるとしても、読み取り位置を合わせるための電子ディスプレイとその駆動回路をリモコンに搭載することは価格的にも消費電力的にも敷居が高い。

本論文では、このような問題を解決するために、リモコンに搭載しやすい新しい印刷情報読み取り方式である ClearPlate (図 1) を提案する。ClearPlate は、高価な電子ディスプレイを使わなくても、リモコンの透明な部分を読み取りたい範囲に重ねるだけでリモコン内部に搭載されたカメラを適切に位置／ピント合わせできる、安価で使いやすい読み取り方式である。

<sup>†</sup> 日本電信電話株式会社 NTT サイバーソリューション研究所

NTT Cyber Solutions Laboratories, NTT Corporation

<sup>‡</sup> NTT コミュニケーションズ株式会社

NTT Communications Corporation.

以下、本論文では、リモコンに搭載される印刷情報読み取り方式が満たすべき仕様について整理した上で、従来の読み取り機器の構成や著者らの初期検討方式をリモコンに搭載する際の問題点を述べる。次に、これらの問題を解決する方法である提案方式 ClearPlate の構成と利点について詳しく解説し、さらに評価実験により、電子ディスプレイを用いた携帯電話の二次元コードリーダー以上の高い操作性が提案方式で得られる点と、その性能が Fitts の法則の修正式で表せることを示す。

## 2. 要求仕様

リモコンに印刷情報読み取り機能を搭載する際には少なくとも以下の条件を満たすべきである。

**価格**：テレビ用のリモコンは、電子ディスプレイを搭載している携帯電話機などと比べ、もともと非常に安価に作られている。そのため、従来のビジネスモデルに対するインパクトを最小限に抑えるために、できるだけ安価な方法で実現するべきである。

**消費電力**：やはり携帯電話機などと比べ、リモコンはバッテリーライフが非常に長いのが普通である。リモコンとしての従来からの使い勝手を落とさないためにも、消費電力が大きくなる構成は避けるべきである。

**安全性**：家庭に置かれたリモコンは大人だけでなく子供も使う可能性があるため、安全面にも配慮するべきである。

これらの条件をすべて満たしたうえで、なおかつ操作性の高いものを実現できることが望ましいが、このとき特に問題となるのは、読み取りセンサー（カメラ）を印刷情報に位置合わせする手段である。以下では、二次元コードの一種である QR コード[9]の読み取り装置を例にして従来技術をリモコンに搭載する際の問題点について述べる。

## 3. 従来技術

現在、携帯電話機の多くには QR コードの読み取り機能が備わっている。携帯電話機では読み取り用カメラを位置合わせする際に、搭載されている液晶ディスプレイを使ってカメラ映像を常にユーザにフィードバックする方法がとられている。しかし、電子ディスプレイとその駆動回路は、リモコンに搭載するには大変高価であるし、消費電力も大きい。



図2 業務機のレーザー照準

その上、携帯電話機では、機器を空中で静止させて撮影しなければならない。すなわち、対象物に対してフォーカスする位置を探し、そこであるべく正対させ、静止画を撮影する間、ぶれないように機器を固定するといった面倒な操作が必要になる。そのため、撮影対象に対する傾きを自動検出して補正する画像補正アルゴリズム[3]や、カメラぶれによる残像を除去するアルゴリズム[4]が考案されているものの、常に十分な補正を行なうことは難しい。

一方、業務用の QR コード読み取り専用機というものがあるが、これらの多くは電子ディスプレイではなく、レーザー照準器を使って撮影対象への位置合わせを行う（図 2）。レーザー製品やその関連部品は IEC 60825-1 [11]等により光強度によってクラス分けされており、業務機に使われるレーザーは 1mw 未満のクラス 2 が多いと思われる。しかし、このクラスでも 0.25 秒以上の直視は危険であることから、家庭で子供も使う可能性があるリモコンに搭載するには安全面からふさわしくない。

## 4. ClearPlate 考案に至るまでの経緯

それでは、電子ディスプレイやレーザー照準を使わずに、カメラを印刷情報に位置合わせしやすくするにはどうすればよいのだろうか。著者らは最初、リモコンの裏側に下向きにカメラを取り付け、このようなリモコンを印刷情報に重ねて読み取る方式を考案した（図 3）。このようにすると、カメラと印刷情報の距離が常に一定になるのでピントが自動的に合い、リモコンを置いて撮影するのでぶれもなくなるという利点もある。同様の工夫は、設置型の QR コードリーダーにも多くみられる（例えば、飛行機搭乗口のチケット読み取り機や机上設置用の[13]や[14]など）。これらのリーダーの内部には天井向きにカメラが仕込まれており、機器の上方に QR コードが印刷されたチケット等を載せて読み取る。ただし、[13]や[14]の仕様によれば、これらの高さは 8~11cm 程度あるようである。

印刷情報を読み取るための“透明な板”：リモコンに搭載しやすい読み取り装置の構成

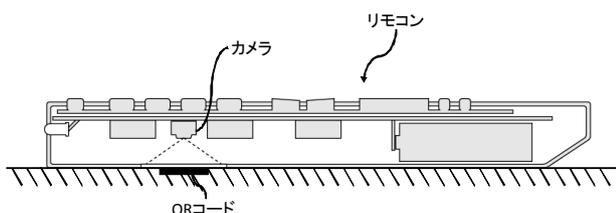


図3 広角レンズを用いて真上から密着させて読み取る方式

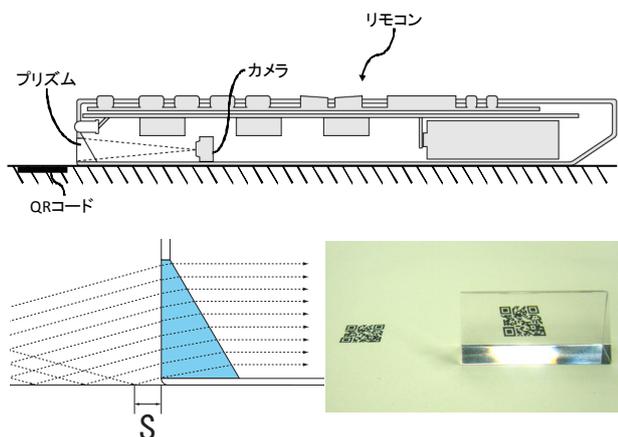


図4 プリズムを用いて横に置いて読み取る方式

しかし、標準的な厚みのリモコン（最大で 3cm 程度である）の裏側に搭載する場合、カメラモジュールの CMOS センサー基板やレンズの厚みを考えると、レンズの先端と印刷情報面との距離は 3cm 以下となってしまう。そこから、QR コードなどは 2cm 角ほどのものまで目にする可能性があるから、少なくともそれ以上の撮影範囲を確保する広角レンズが必要となる。そこでレンズ設計ソフトウェアでシミュレーションを行ってみたが、撮影画像がたる型に大きく歪み、全体にフォーカスを合わせることも困難になり、読み取り処理が難しくなることがわかった。

次に著者らが考案し、試作したのは、リモコン筐体の側面にアクリル製プリズムを設け、そこからリモコン内部に設置したカメラに光学像を投影するようにしたものである（図 4）。この方式では、撮影したい印刷情報の横にリモコンのプリズム部を接地させて読み取りを行う（図 4 上の全体図）。プリズムは印刷面からの光を屈折させてカメラに伝達するので（図 4 左下）、カメラからは寝ている印刷面の像がカメラ側に起き上がってくるように見える（図 4 右下の写真）。このような構成により、印刷面とカメラとの距離を離すことができ、大きな歪みをなくすことができた。これでも撮影画像は斜めのままであるが、現在出回っている一部の携帯電話機の QR コード読み取り機能でも安定した読み取り処理は可能であった。しかし、カメ

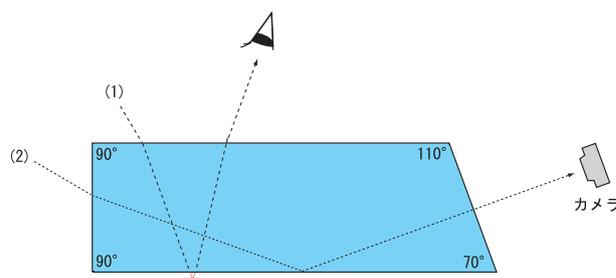


図5 通常のアクリル板における光線経路（側面図）

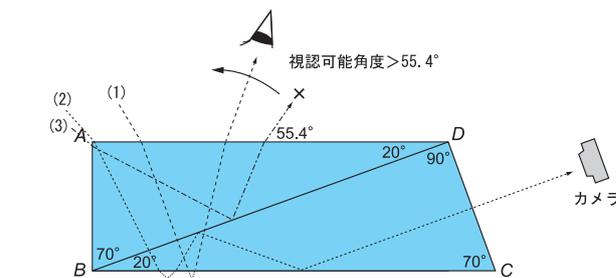


図6 ClearPlate における光線経路（側面図）

ラの撮影範囲がわかりづらいという問題が残った。特に問題となるのは、撮影範囲の奥ではなく手前（リモコン）側である。図 4 のプリズム下部は直角となっているが、このままだと鋭利で危険なため、最終的にはこの部分をリモコン筐体内に入れてしまうか、アールをつける必要がある（図 4 左下は筐体内部に設置した例）。そうすると、リモコン筐体に接する印刷面は撮影できず（図 4 左下の S の部分）、リモコン底面の厚さに比例して撮影範囲が前方となり、初めて使うユーザにとっては、この境界が分かりにくいということが実験の結果明らかになった。

## 5. ClearPlate

最終的に著者らが辿りついた ClearPlate は、見た目には、リモコンの一部が非中空の透明な板のように見えるものである（図 1）。この透明な板の上方から見える底面がそのままカメラの撮影範囲となっており、この部分を読み取りたい印刷情報に重ねることで、印刷情報を読み取ることができる。

### 5.1 原理

ClearPlate の透明な部分はアクリルである。印刷情報を読み取るためのカメラはリモコン内部の、アクリルの側面に設置される。しかし、通常のアクリル板では、印刷情報に重ねたとき、アクリルの上方、すなわちユーザの視線からは印刷情報の像を得ることはできない（図 5 の光線経路(1)）、カメラが設置される側面では印刷情報の像を得ることはできない（図 5 の光線

経路(2)). この理由は、アクリル・印刷面間の空気とアクリルの屈折率の差が大きいため、アクリルから印刷面に向かう光がアクリル内部表面で全反射（光が二つの媒質の境界で全て反射する現象）してしまい、印刷面を経由せずカメラに到達してしまうためである（このときカメラで得られる像は、図4右下のプリズムの底面のようにいわゆる銀色になる）。アクリル上部とカメラの両方から見えるようにするために、印刷面から視線方向に反射する一方向の光線を、ハーフミラーを使ってカメラ方向に分ける方法も考えられるが、得られる像は両方向ともに不鮮明なものになってしまう。

これに対し、ClearPlate では、上方の視線からも側面のカメラからも、鮮明な、ほぼ同一の光学像を得ることができる。図6にClearPlateの構成図を示すが、薄い三角形の透明な板を二枚貼り合せた構成となっている点の特徴である。貼り合せた面BDは、接着剤で接着されているわけではなく、わずかに空気の間隙があり（真空でもよい）、光線の入射角により屈折や全反射といった現象が発生する。

このような構成をとると、ある方向からの光線は、2層のアクリル板を通過して印刷面に到達した後、アクリル板の上方へは戻らず、アクリル板の側面に導かれる。図6の経路(2)を通る光線は、その一例である。具体的に追うと、(2)ではアクリル上面ADへの入射時に屈折した後、アクリル底面BCに到達し（実際にはBDを通過する際に光線が平行にわずかにずれるが無視してよい）、再び屈折して印刷面に到達する。その後、印刷面で反射して再度アクリルのBC面に到達し、屈折してBD面まで進む。ここで光線の入射角が臨界角以上となるので（アクリルの屈折率が1.49、空気が1なので、BDの垂線に対して42.2度以上）、光線は全反射し、再びBC面に向かう。BC面に再到達後も臨界角以上の入射となるため、再び上方に全反射し、最後はCD面を通過してカメラに到達する。図6は、カメラが面DCに正対して取り付けられている例で、この場合には、面BCのB側から面DCと同じ面積の印刷面をカメラから見るができる。しかし、このような構成をとっても、ユーザが視認する角度、例えば(1)に影響を与えることはない。

ただし、アクリル上方のより低い角度からは視認できなくなる。図6の光線経路(3)は、屈折率1.49のアクリルにおいて $\angle DBC$ が20度のときに、上方から視認できなくなる角度を表わしている。具体的には、経路(3)において光線が面BDに入射するとき、臨界角

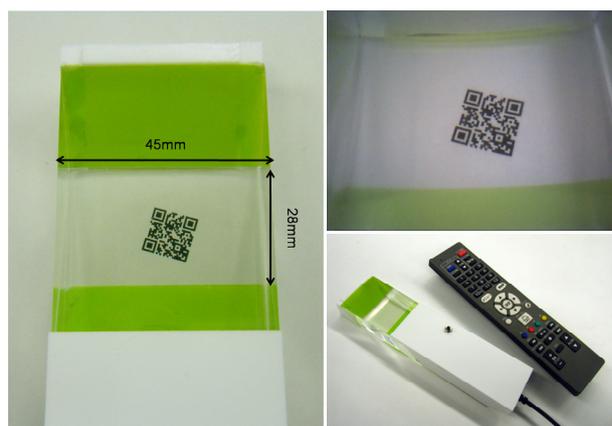


図7 ClearPlate プロトタイプ

を超えるためにここで全反射してしまい、印刷面に到達しなくなるからである。従って、本原理をユーザインタフェースに利用する際には、ユーザが視認可能な角度の範囲で使うよう考慮して設計する必要がある。とはいえ、印刷面が上から視認できなくなる角度は、 $\angle DBC$ の角度を小さくすることで、より低くすることはできる。

同図に記されたアクリル板の角度は、ClearPlateを実現する際の一例であり、同様の現象が発生する範囲で角度を変更することができる。例えば、リモコン筐体のサイズに応じて、 $\angle DBC$ の角度を小さくし、AB方向の厚みを薄くすることもできるし、BC方向の長さを短くして、（例えば一行の活字認識専用として）コンパクトにすることもできる。

図7に、提案方式のプロトタイプを示すが、右下の写真の左側に写っている装置が提案方式全体の外観で、リモコンを模した筐体を一般的なリモコンのサイズを参考に作成した（185×45×22mmとした）。左の写真は上方からの外観で、透明部分はアクリル製、読み取り範囲は45mm×28mmとなっており、透明部分の下には11mm角のQRコードが見えている。右上の写真は、このときの筐体内のカメラによるものである。このように、上方からも内側のカメラからも、鮮明な、ほぼ同一の光学像を得ることができている。

## 5.2 利点

提案方式には、つぎのような利点がある。

**安価**：電子ディスプレイを搭載しないので安価である。ちなみに、カメラモジュールにはJPEG出力を備えたものがある。二次元コードや文字認識に必要な画像解像度はQVGA（320×240）程度で十分であり、JPEGで圧縮すればそれらは20~30Kbyteになる。リモコン信号の送信手段としては、現在1Mbit/secの転送速度があるリモコン向け低消費電力Bluetoothモジ

印刷情報を読み取るための“透明な板”：リモコンに搭載しやすい読み取り装置の構成

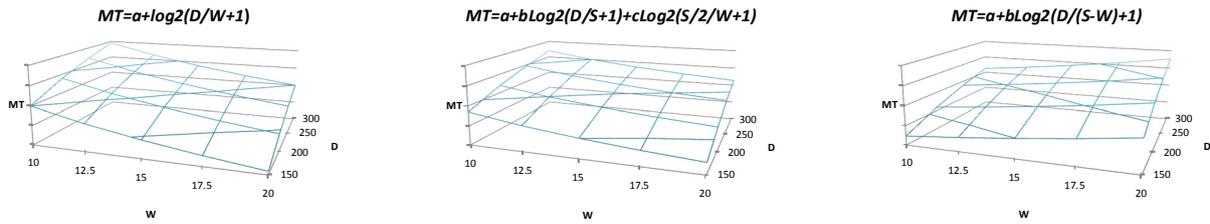


図8 (左) 標準的なFittsのモデル, (中) Rohsらによる携帯電話のモデル, (右) 提案手法に関するモデル

ユーザなどが開発されており, リモコンをテレビに向けて操作できることから, 今後の普及が期待されている. そのため, これらを利用すれば, カメラの撮影静止画を瞬時にセットトップボックスやテレビに転送し, そちらのCPUでデコードするようにすることで, リモコン側にはディスプレイ駆動やデコード用の大きなCPU等を一切搭載する必要がなくなる.

**低消費電力:** 上述のように消費電力の大きい電子ディスプレイやCPU等を用いない設計が可能である. 加えて, 携帯電話機と異なりリモコンを置いて撮影する方式であるため, 消費電力が40~50mA程度のカメラモジュールが撮影の瞬間だけ, すなわち, シャッタースピードに限りなく近い時間だけ電力を消費するので, さらに低消費電力となる.

**安全:** 業務機のようなレーザー照準を用いないため, レーザーを誤って直視してしまう危険がない.

**優れた操作性:** 携帯電話機では空中で静止させなければならないのに対して, 提案方式では装置の透明部分を印刷面に重なるように置くだけで, 撮影対象にピントが合い, 正対でき, それでいてぶれにくくなり, 各種画像補正を挟む必要もなくなる.

## 6. 評価実験

本節では, 第1の目的として, 提案手法が印刷情報の読み取り動作をどの程度容易にするのかを評価する. 読み取る印刷情報の例としてQRコードを用いる. また, 評価の目安として携帯電話との比較を行なう.

第2の目的は, 提案方式における, リモコンから印刷情報までの距離及び印刷情報の大きさと操作性との関係を明らかにすることである. 一般的には, ターゲット選択動作はFittsの法則に従うことが報告されている[1][8]. Fittsの法則では, ターゲット幅が $W$ , ターゲットまでの距離が $D$ であるとき, ターゲットを選択するまでの移動時間 $MT$ は, 次式であらわされる.

$$MT = a + b \log_2 \left( \frac{D}{W} + 1 \right)$$

ここで,  $a$  及び  $b$  は経験的に求められる定数であり,

対数項は困難さ指標 ( $ID$ ) と呼ばれる. 上式からは, ターゲットが小さくなるか, ターゲットまでの距離が増加すると, 選択に時間がかかるようになることが読み取れる. さらに, 携帯電話による電子ディスプレイを用いた二次元コードの選択では, 次式によるほうがより正確にモデル化できることがRohsらにより報告されている[2].

$$MT = a + b \log_2 \left( \frac{D}{S} + 1 \right) + c \log_2 \left( \frac{S/2}{W} + 1 \right)$$

上式において,  $S$  は電子ディスプレイの幅を表しており, 二次元コードを直接観察しながらの選択動作 (第二項) と対象がディスプレイに表示されてからの動作 (第三項) を考慮している. Fitts, Rohsらの式の3次元グラフをそれぞれ図8左と中に示すが, いずれも $W$ が小さくなるにつれ, 移動時間 $MT$ が大きくなる (選択が困難になる) ことに留意されたい.

一方, KabbashらはGUIにおける小さなターゲットの選択を容易にするために「エリアカーソル」を提案しているが[7], 彼らによれば, ターゲット幅の代わりにカーソル幅を $W$ とおけば, エリアカーソルもFittsの法則でモデル化できるとしている. ただし, 彼らの実験ではターゲット幅を1ポイントに固定化して測定しており, ターゲット幅が可変である場合を調査していない.

提案手法も, 実世界における一種のエリアカーソルと考えられるが, ターゲット幅がパラメータだとすると, 提案手法における $MT$ は次式で予測できるというのが著者らの仮説である.

$$MT = a + b \log_2 \left( \frac{D}{S-W} + 1 \right)$$

ここで,  $S$  は透明部分の幅,  $W$  はターゲットの幅である. 本式の3次元グラフを図8右に示す. 本式では,  $D$ が大きくなると $MT$ が増大する点は先の二式と同じであるが,  $W$ が小さくなるにつれ,  $MT$ が減少する点異なる.

### 6.1 被験者

10人(女性2人, 男性8人)の被験者が実験に参加した。年齢は, 24歳から34歳であった。1人が左利きで, 残りは右利きであった。なお, 全ての被験者が携帯電話でQRコードの読み取りを行なった経験があった。

### 6.2 実験計画

2×4×5の被験者内計画を用いた。要因と水準は以下の通りである。

- 読み取り方式(RT): 携帯電話, ClearPlate
- ターゲット(QRコード)までの距離(D):  
150, 200, 250, 300 mm
- ターゲット幅(W): 10, 12.5, 15, 17.5, 20 mm

従属変数はターゲットの読み取りにかかる時間(MT)とエラー率である。10人の被験者が2通りの読み取り方式を用い, 4×5通りのターゲット条件のもとで18試行ずつの読み取りを行った(9試行を2ラウンド繰り返した)。全試行回数は10×2×4×5×9×2の7200試行であった。

被験者らは, 無作為に2グループに分けられ, 一方は携帯電話を最初に使い, もう一方はClearPlateを最初に使った。一つの読み取り方式で全ての試行を完了後, 休憩をはさみ, もう一方の読み取り方式を利用した。D×W20通りの読み取り順序は, 被験者毎に無作為化を行なった。一被験者が実験を完了するまでの時間はおよそ2時間半から3時間であった。

### 6.3 実験装置

ClearPlateの比較対象として, QRコード読み取り機能を備えた携帯電話機であるNEC製N705iを使用した。QRコードの読み取り性能は機種によって大きく違うようであるが, 著者らが所持していた機種の中から最も性能がよいと思えたものを採用した。読み取りにかかる時間については, iアプリ™(JAVA)を作成し, 1ミリ秒単位で計測できるようにした。同機種の読み取り機能は, 読み取りキーを押したときだけ, 撮影画像からデコードを試みるタイプではなく, 撮影画像に対して, フレーム毎に自動的にデコードを試みるタイプである。また, 携帯機種の仕様上, 1回読み取りを行なう毎にiアプリから読み取り機能を呼び出し出す必要があったが, 計測できるタイミングは呼び出す前と読み取り後で, 呼び出した直後には起動に約2450ミリ秒かかるようだったので, その分を減算して計測した。

ClearPlateのプロトタイプは図7に示したとおりである。カメラモジュールには, (株)アサヒ電子研究

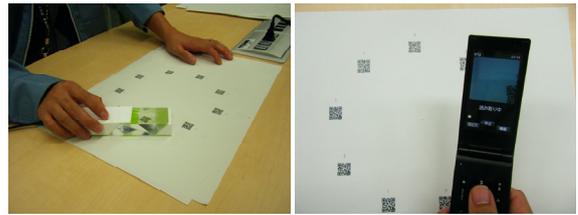


図9 実験風景

所製USB出力VGAカメラモジュールACB-U04vIIを用いた。これに静止画取込スイッチを繋ぎ, リモコン筐体上部に固定した。USB出力はPCに接続した。

時間計測用ソフトウェアは, C#を用いて作成した。BEEP音で計測開始を知らせた後, 静止画取込スイッチが押下されVGA静止画像がPC内にJPEG保存されるまでの時間を計測できるようにした。比較する携帯電話N705iとQRコード読み取りソフトウェアの条件を同一にするために, 保存された静止画像を後からPC画面に表示させ, 固定したN705iのQRコード読み取り機能で読み取り, その時かかった読み取り時間を加算してN705iと比較できるようにした。

### 6.4 手続き

実験は, ISO9241-9[10]記載の多方向タッピング試験を応用して実施した。具体的には, 453mm×345mmの用紙に, 番号が付けられたQRコードを円環状に等間隔に9つ印刷し, 番号順にQRコードを読み取るとき, 次の目標への移動距離が円の直径とほぼ等しくなるようにして, 一定距離離れたところにあるQRコードの読み取り作業を繰り返し測定できるようにした(図9)。1枚の用紙に印刷するQRコードの幅は同一とし, 独立変数WとDの組み合わせ数となる20枚分を作成した。被験者は, 各読み取り方式で, 番号が付けられたQRコードをその番号順に読み取ること求められた。なお, 試行本番前に各読み取り方式で, 無作為に選ばれた3枚(D×Wの3条件)を使って練習を行なった。用紙はすべて机の上に置き, 被験者は高さの調整できる椅子に座った。携帯電話及びリモコンはどのように持ってもよいこととした。

なお, 携帯電話を用いる際には, 読み取り開始キーを押して, QRコード読み取り機能が起動するまで, 直前に選択したQRコード上に携帯電話を接地させておくよう指示した。

ClearPlateでは計測開始を音で知らせ, 携帯電話では計測開始を画面で知らせるようにしたが, 人間の反応時間は視覚と聴覚でわずかに差があり[12], 個人差も考えられる。そこで最後に, 携帯電話機のディスプレイ変化に対してボタンを押して反応する時間と, ClearPlateのBEEP音に対してボタンを押して反応す

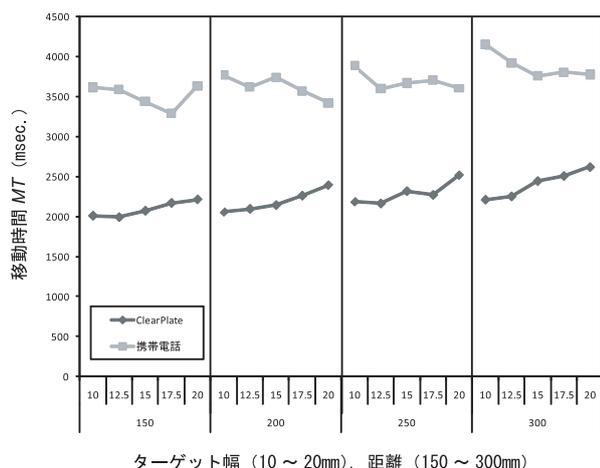


図 10 両方式における移動時間

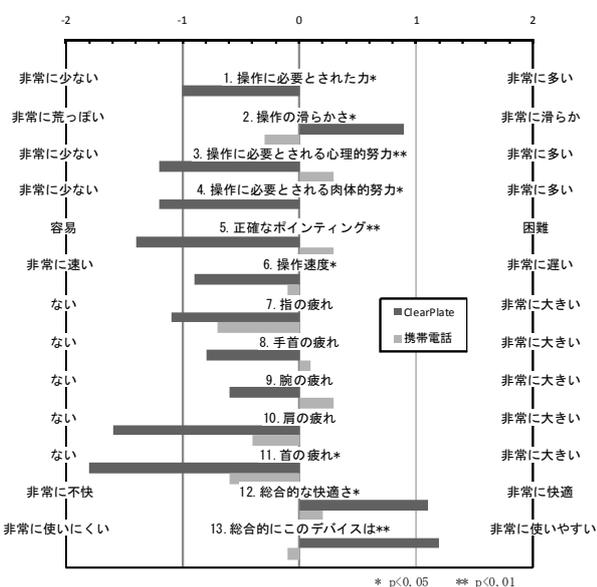


図 11 主観評価の結果

る時間を 15 回ずつ求め、両方式での計測時間からそれぞれの平均反応時間を減算し、比較条件が同一となるよう調整した。

### 6.5 結果

図 10 に、両読み取り方式(RT)におけるターゲット距離(D)、ターゲット幅(W)ごとの移動時間(MT)を示す。反復測定分散分析を行なったところ、有意な主効果が、 $RT(F_{1,9}=110.997, p<0.001)$ 、 $D(F_{3,27}=27.138, p<0.001)$ 、 $RT \times W$  の交互作用( $F_{4,36}=24.473, p<0.001$ )及び  $RT \times D \times W$  の交互作用( $F_{12,108}=3.044, p<0.005$ )で確認された。W については有意傾向にとどまった( $F_{2,36}=2.56, p=0.055$ )。さらに多重比較を行なったところ、 $D \times W$  の 20 水準全てにおいて、ClearPlate は携帯電話より有意に速いことが確認された ( $p<0.00001$ )。

本実験では、両方式で番号順に読み取りを行わなかったケースと、ClearPlate において取り込んだ静止画

が N705i の QR コードリーダーでデコードできなかったケースをエラーとして集計した。結果、どちらの方式のエラー率も低く、方式ごとの総合エラー率は、携帯電話では番号順のエラー率が平均 0.22%であった。ClearPlate では番号順のエラーは 0 で、読み取りスイッチを押したときにターゲットが透明部分から外れていたことにより読み取りできないエラーが 0.19%であった。いずれの要因においても有意な主効果は確認されなかった。

次に、ISO9241-9 で規定された評価項目を用いて両読み取り方式に対する被験者らの主観評価を実施した結果を図 11 に示す。項目ごとに Wilcoxon の順位和検定を実施したところ、質問項目 1 から 6、及び 11 から 13 で有意差が確認された (項目 3,5,13 は  $p<0.01$ , それ以外は  $p<0.05$ )

最後に、図 12 に困難さ指標 (ID) の関数として ClearPlate における移動時間をプロットした結果を示す。ClearPlate における ID は、仮説の通り  $\log_2(D/(S-W)+1)$  と定義している。回帰分析の結果は  $r^2$  値が 0.8879 であった。このとき S の値は、Rohs らの研究にならい[2]、透明部分の横 45mm と縦 28mm の中間をとって 36.5mm として計算している。

## 7. 考察

両方式のエラー率に有意な主効果は確認されなかったが、すべてのターゲット幅と距離の条件において、ClearPlate が有意に速いことが確かめられた。その上、主観評価の 13 項目中 9 項目で有意差が確認され、すべて ClearPlate により印象であった。以上のことから、ClearPlate では、携帯電話以上の高い操作性が得られると結論付けることができる。

操作時間の予測モデルに関しては、著者らの仮説は W に関しては携帯電話と逆の傾向を示すというものであった。実際、図 10 のグラフを見ると、携帯電話では W が小さくなるにつれ、MT が大きくなるようだが、ClearPlate では逆に減少していくように見える。そして MT に関する分散分析の結果は、W に関しては有意傾向であったものの、 $RT \times W$  の交互作用に有意な主効果が観察された。さらに仮説式による回帰分析の結果は  $r^2$  値が 0.8879 となった。従って、仮説によく合致しているといえる。実際、実験終了後の被験者から自由形式で感想を述べてもらったが、10 名全員が「小さいほうが位置合わせしやすい」と発言していた。この結果からは、カタログ冊子に記載する二次元コードなどは小さく記載するほうがよいという指針が導け

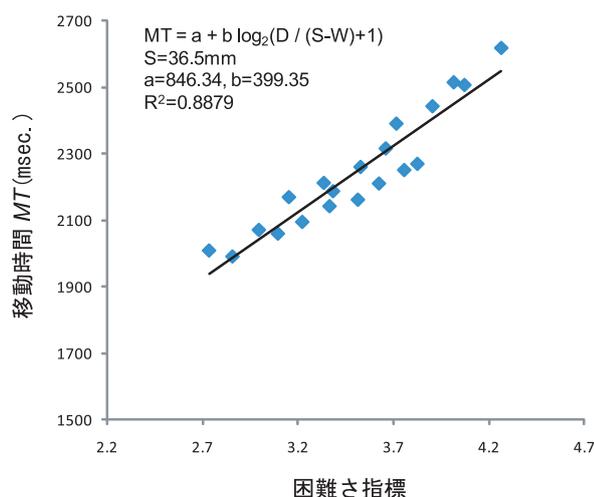


図 12 困難さ指標ごとの移動時間

る。このことは、紙媒体では印刷情報の面積に比例して掲載コストが増えるので、コストの面からも利点である。

しかし、ClearPlate には問題点もあり、10 名の被験者全員が「前方の遠い距離にある QR コードを読み取るとき透明部分が反射して見えにくくなることがある」と述べていた。この理由は、遠くのを撮影するとき、低い角度から透明部分を覗くことになるからだと考えられる。実験に用いた ClearPlate では、図 6 でいう  $\angle DBC$  を 20 度としていたが、実使用でも同じ問題が頻繁に発生するようなら、より低い角度で設計しなおすべきであろう。

このほかにも提案方式の一般的問題として、透明部分の面積以上の印刷情報を読み取りたいときにどうすべきかというものがある。携帯電話では撮影対象との距離を調整すれば大きな印刷情報でも読み取ることができるが、ClearPlate はそうではない。しかし、複数の画像を一枚に繋げる画像モザイクング[5, 6]の研究が長年行なわれていることから、これらを利用して、ClearPlate を動かしながら読み取る機能を追加することは考えられる。

## 8. まとめ

本論文では、リモコンに搭載しやすい印刷情報読み取り方式として、ClearPlate を提案した。提案方式が安価で、低消費電力で動作する構成であることを述べたのち、そのプロトタイプの操作性評価を実施した。その結果、電子ディスプレイを用いた携帯電話の二次元コードリーダー以上の高い操作性が得られることと、その性能が Fitts の法則の修正式で表せることが明らかになった。

今後は、プロトタイプワイヤレス化を行ない実際の消費電力を評価することや、活字読み取り性能に関する評価などを実施する予定である。

**謝辞** 本研究を進める上で有益な御意見を頂いた近藤重邦氏、高田英明氏に感謝する。

## 参考文献

- 1) Fitts, P.M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement, *Journal of Experimental Psychology*, Vol.47, pp. 381--391 (1954).
- 2) Rohs, M. and Oulasvirta, A.: Target acquisition with camera phones when used as magic lenses, *ACM Proc. CHI 2008*, pp. 1409-1418 (2008).
- 3) Ohbuchi, E., Hnaizumi, H., and Hock, L. A.: Barcode readers using the camera device in mobile phones, *IEEE Proc. CW 2004*, pp. 260--265 (2004).
- 4) Chu, C., Yang, D., and Chen, M.: Image stabilization for 2D barcode in handheld devices, *ACM Proc. MM 2007*, pp. 697--706 (2007).
- 5) Whichello, A.P. and Yan, H.: Document image mosaicing, *IEEE Proc. ICPR '98*, Vol.2, pp. 1081-1083 (1998).
- 6) Isgro, F. and Pilu, M.: A fast and robust image registration method based on an early consensus paradigm, *Pattern Recognition Letters*, Vol.25, No.8, pp. 943--954 (2004).
- 7) Kabbash, P. and Buxton, W.: The "Prince" technique: fitt's law and selection using area cursors, *ACM Proc. CHI '95*, pp. 273--279 (1995).
- 8) MacKenzie, S.: Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction. *Human-Computer Interaction*, 7, pp. 91-139 (1992).
- 9) ISO/IEC 18004: Information technology -- Automatic identification and data capture techniques -- Bar code symbology -- QR Code, *International Standardization Organization* (2000).
- 10) ISO9241-9: Ergonomic design for office work with visual display terminals (VDTs). Part 9: Requirements for non-keyboard input devices, *International Standardization Organization* (2000).
- 11) IEC60825-1: Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements (2007).
- 12) 大山正, 今井省吾, 和気典二編: 新編感覚・知覚心理学ハンドブック, pp. 188-189, 誠信書房 (1994).
- 13) 携帯液晶対応 定置型 QR コードリーダー: CP-01, <http://www.psytec.co.jp/product/04/>
- 14) 固定式リーダー: QK12-IC, [http://www.denso-wave.com/ja/adcd/product/iccard/qk12\\_ic/index.html](http://www.denso-wave.com/ja/adcd/product/iccard/qk12_ic/index.html)