

撮影によるコンテンツの持ち出しに対抗するための研究

藤川真樹 釜井了典
ALSOK

小田史彦 森安研吾
ウシオ電機株式会社

淵真悟 竹田美和
名古屋大学

あらまし 著者らは、ディスプレイに表示されているコンテンツを、デジタルカメラを用いて撮影することにより持ち出すというコンテンツのリーク方法に対抗するための2つの手段を研究している。ひとつは、ディスプレイに貼り付けることにより、撮影されたコンテンツに光学的なノイズを混在させることができる「赤外線を発光する透明なシート」の開発である。もうひとつは、当該シートの働きを無力化できる「赤外線カットフィルターを用いた撮影」に対抗するために、ディスプレイの近辺に当該フィルターが存在するか否かを検知したり、撮影行為を検知したりする手法の開発である。実験の結果、これらの実現可能性が高いことが確認できたため、本稿にて報告する。

Study of Countermeasures for Content Leaks by Video Recording/Camera Shooting

M. Fujikawa & R. Kamai
ALSOK

F. Oda & K. Moriyasu
Ushio Inc.

S. Fuchi & Y. Takeda
Nagoya University

Abstract The authors have been engaged in the study of countermeasures to prevent the leak of onscreen movies using a digital video camera. One of the studies is the development of a transparent sheet that emits infrared (IR) light, which is applied to the screen and generates optical noise in the onscreen photographic images when recorded. Another study is the development of a method to detect the presence of the IR-cut filter near the display, which compromises the function of the IR emitting sheet as a countermeasure to prevent video recording using the IR-cut filter. This report is prepared as an advance report because it was confirmed that the feasibility of such countermeasures is enhanced.

1. はじめに

クラウド・コンピューティングの広がりやデジタルカメラの高性能化(記憶容量の大容量化、動画撮影機能の標準化、操作性の向上)に伴って、デジタルカメラで撮影したコンテンツ(画像・映像)を家族や友人同士で共有したり、動画投稿サイトに投稿して不特定多数の人に公開したりする人が増えている[1], [2]。今日では、多種多様なコンテンツが共有・公開されているため、我々はこれらを「新しいスタイルのエンターテインメント」として享受している。

その一方で、機密や秘密とされるべきコンテンツが従業員によってリークされ、動画投稿サイトに投稿・公開されるという事件が発生している[3], [4]。コンテンツをリークさせる手段として、インターネットに接続されている LAN や持ち運び可能な記憶媒体が用いられていることから、官公庁や企業では、特定のサイトへのアクセスやデータのアップロードをブロックする UTM(Unified Threat Management)を導入したり、記憶媒体へのコピーを防止するソフトウェアを従業員が

使用するパソコンにインストールしたりするなどして、リークへの対策を強化している。

現在、著者らは、これまで具体的な対策が提案されていなかったリーク方法(すなわち、パソコンのディスプレイに表示されているコンテンツをデジタルカメラで撮影し、得られたコンテンツを持ち出すこと)に着目し、その対策として2つの対策を研究している。

ひとつは、ディスプレイの画面に貼り付けることができる、「赤外線を発光する透明なシート」の開発である(これを「**対策 1**」と呼ぶことにする)。これにより、従業員がコンテンツを撮影したとしても、低品質なものしか得ることができない。

もうひとつは、対策1を無力化できる(すなわち、品質の低下を回避できる)、「赤外線カットフィルターを用いた撮影」に対抗するために、ディスプレイの近辺に当該フィルターが存在するか否かを検知したり、撮影行為を検知したりするシステムの開発である(これを「**対策 2**」と呼ぶことにする)。これにより、従業員が、当該フィルターをレンズの前面に取り付けたカメラや、

当該フィルターが内蔵されたカメラを用いて撮影しようとしたときに、コンテンツの表示を強制終了させるなどしてこれを保護することができる。

本稿では、これらの対策の詳細および実験結果について述べることで、実現可能性の高さを示す。

2. 指標と前提条件

はじめに、現時点で得られている知見を考察し、本研究における指標と前提条件を設定する。

2.1. 考察1(赤外線波長の)

文献5では、映画の盗撮に対抗するために、スクリーンの裏面から客席に向かって赤外線を照射する方法が提案されている。これによると、デジタルカメラに内蔵されているイメージセンサー(CCD/CMOS)が「光学的なノイズ」として認識しやすく、かつ、人間の目が「可視光」として認識しにくい赤外線の波長は870nmであると報告されている。

2.2. 考察2(赤外線の発光方法)

2.2.1. 赤外線を発光するディスプレイ

上記の波長の有効性を検証するために、著者らは、白色LEDによってエッジライティングさせた導光板の上に、複数のチューリップを印刷したOHPフィルムを置き、導光板の裏面から赤外線LED(波長870nm、放射強度80mW/sr)を25個点灯させながら、コンパクトカメラを用いてOHPフィルムを撮影した。その結果、人間の目は赤外線を光として認識しなかったが、イメージセンサーは赤外線を白っぽい光として認識した(図1参照)。

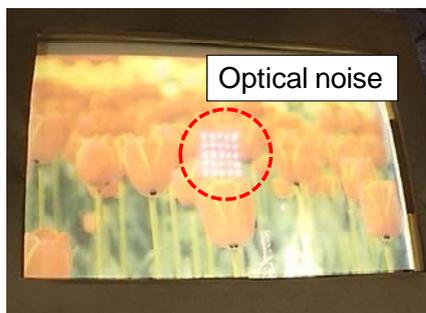


図1. 実験結果(1)

LCD(Liquid Crystal Display)における情報の表示原理は、導光板の裏面から赤外線を点灯させること以外は上記の実験方法と同じといってよい。このため、赤外線を発光する光源を液晶パネルの裏面に配置

することで、赤外線を発光するディスプレイを製造することは可能である。しかし、このようなディスプレイを事業所に導入するためには、既存のディスプレイとの交換が必要不可欠であるため、運搬・交換・設置といった「煩雑な作業」と「人的・時間的コスト」を必要とする。

2.2.2. 赤外線を発光するパネル

著者らは、ディスプレイの画面を保護する透明なパネルからヒントを得て、「赤外線を発光する透明なパネル」の開発を試みた。発光体を取り付け可能な形態にすることにより、既存のディスプレイを使用し続けることができ、作業工数とコストを抑えることができる。また、画面の前面に設置する箱型の赤外線発光体[6]よりも薄く、シンプルな装置構成を実現できるだけでなく、マイクロルーバーと組み合わせにより、ディスプレイと正対している時のみコンテンツが見えるようにすることで、それ以外の方向からのコンテンツの撮影を困難にすることができる。

著者らは、上下2辺に赤外線LED(波長870nm、放射強度80mW/sr)を40個ずつ取り付けた導光板を画面の前面に取り付けた。そして、画面に画像を表示させるとともに、赤外線LEDによって導光板をエッジライティングさせながら、コンパクトカメラを用いて画面を撮影した。その結果、記録されたコンテンツには光学的なノイズがほとんど含まれていなかった(図2参照)。これは、導光板の透明度を高くするために、導光板に封入する「拡散ビーズ」の量を少なくしているからである。



図2. 実験結果(2)

2.3. 考察3(赤外線発光体の取り外し)

赤外線発光体を既存のディスプレイに取り付け可能な形態にした場合、従業員がこれを勝手に取り外

して撮影することが考えられる。このため、赤外線発光体を取り外されたことを検知できるとともに、検知時にコンテンツを適切かつ速やかに保護できる仕組みを整備する必要がある。

2.4. 考察4(赤外線カットフィルターを用いた撮影)

赤外線カットフィルターを用いた撮影に関して、文献7では以下のことが報告されている。

- (1) 撮像素子は、可視域外である赤外線域にも高い感度を持っている。このため、デジタルカメラの撮影スペックに応じて、赤外線カットの割合を調整したフィルターが撮像素子の前面に取り付けられている。
- (2) 赤外線カットフィルターには、受光した赤外線をフィルター内に取り込むタイプ(吸収型)と、フィルター表面で反射するタイプ(反射型)の2種類がある。
- (3) レンズの前面に上記(2)のフィルター(反射型)が取り付けられていることを想定し、当該フィルターを用いた撮影の検知手法を提案した。

上記を確認するために、著者らは、家電量販店で入手可能な3機種の一瞬レフデジタルカメラを用いて点灯状態と消灯状態の赤外線LEDを撮影した。その結果、いずれのカメラにおいても、光学的なノイズを含まない画像が撮影できた(図3参照)。

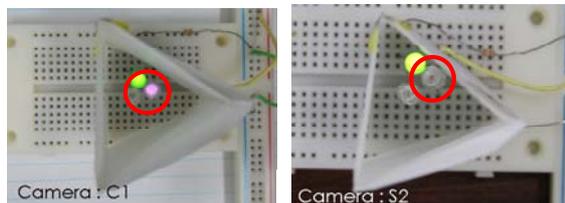
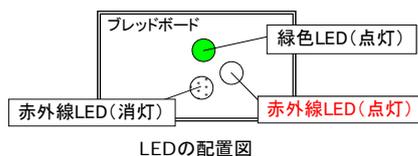


図3. 実験結果(3) コンパクトカメラによる撮影画像(左)と一瞬レフカメラによる撮影画像(右)。

このことは、レンズの前面にフィルターを取り付けなくても、撮影スペックの高いカメラであれば、それ単体でノイズレスなコンテンツが撮影できることを示している。これらの結果から、上記(3)のような撮影形態とともに、撮影スペックの高いカメラ単体を用いた撮影を視野に入れる必要がある。

2.5. 指標と前提条件

著者らは、考察1から4をもとに、対策1と対策2の指標を以下のように設定した。

【対策1】

- A) 赤外線発光体は、ディスプレイに取り付け可能かつマイクロルーバーと組み合わせ可能な形態とし、赤外線の波長は870nmとする。
- B) 赤外線発光体を取り外されたことを検知したときに、撮影からコンテンツを保護できる。

【対策2】

- A) 反射型・吸収型の赤外線カットフィルターをレンズの前面に設置した撮影を検知できる。
- B) 撮影スペックの高いカメラ単体を用いた撮影を検知できる。

なお、本研究では、一般的な人によるパソコンとデジタルカメラの取り扱いと、市販されている赤外線カットフィルターの大きさを考慮し、以下に示す前提条件を設定する。

- 望遠レンズを用いて、離れた場所から画面を撮影することは議論の対象外とする。
- 赤外線カットフィルターは画面と正対しており、画面から30cmから60cmの範囲内にある。
- 赤外線カットフィルターの大きさは、3cm²から5cm²とする。
- 撮影は、両手・片手・三脚などを用いてカメラを保持または固定してから行うものとする。

3. 対策1

本節では、画面に貼り付けることができ、高い透明性と柔軟性を備えた赤外線発光シートと、当該シートの取り外しと刃物によるカットを検知できるセンサーシステムについて述べる。

3.1. 赤外線発光シートの開発

著者らは、シートの素材として、可視光の受光(光励起)により赤外線(ピーク波長1,000nm)を発光する、透明度の高い蛍光体ガラス[8]に着目した。このガラスは、「少量の酸化希土類」と「担持ガラス」を混ぜ合わせた粉末を熔融することによって得られる。比較的入手しやすい酸化希土類を使用しており、担持ガラスとの重量比が数%程度であるため、低コストでシートを生成することができる。

蛍光体ガラスがもつ透明度と、可視光から赤外線

への変換効率は、配合する酸化希土類の種類とその比率、担持ガラスの組成等によって決定される(図4に、担持ガラスの組成を系統的に変化させて作製した蛍光体ガラスを示す)。

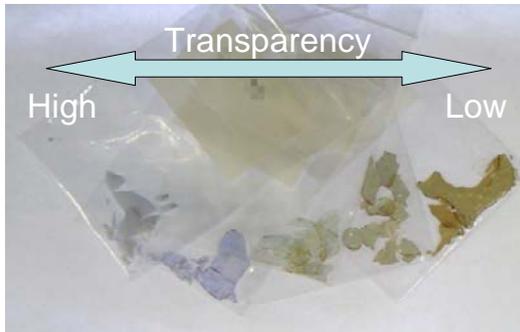


図4. 蛍光体ガラスの外観

著者らは、赤外線のパーク波長を870nmに近づけるために、組成等を調整した蛍光体ガラスを40種類作製したあと、図5に示すような実験環境において可視光(590nm)を照射して発光スペクトルを観測した。その結果、ある組み合わせにおいて作製した蛍光体ガラスが、目標値に近いパーク波長(880nm)を出力することがわかった(図6参照)。

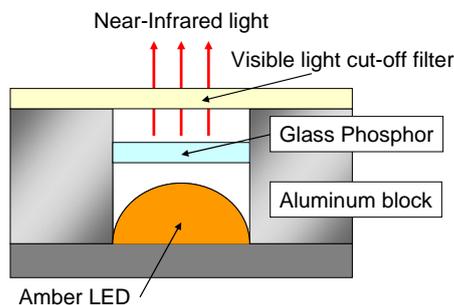


図5. 実験環境

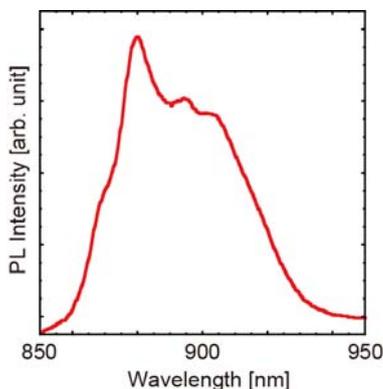


図6. 蛍光体ガラスの発光スペクトル

現在、著者らは、蛍光体ガラスを多く含み、高い透明性と柔軟性をもつシートを生成するために、図7に示

すようなイメージに基づいて、小さな粒状の蛍光体ガラスを透明な樹脂(シリコン)に数多く封入させることを検討している。

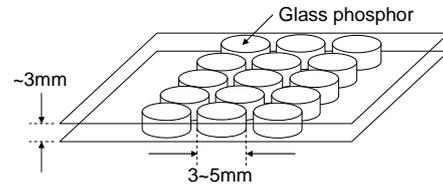


図7. 樹脂への封入のイメージ

現時点での課題を以下に記す。

- ・ 図8(a)に示すように、蛍光体ガラスと樹脂との屈折率が異なるため、ガラスの粒が見えてしまう。これは、両方の屈折率を同じにすることで解消できる(図8(b)参照)。

この課題は、担持ガラスの組成の調整と、適切な樹脂の選定を行うことで解決できる。



図8. (a)は、透明樹脂(屈折率1.4)が入っているシャーレに蛍光体ガラス(屈折率2)を入れたときの写真。(b)は、同じ透明樹脂が入っているシャーレに合成石英ガラス(屈折率1.45)を入れたときの写真。合成石英ガラスの存在は、目視で確認しにくいことがわかる。

3.2. シートの取り外しを検知するシステム

著者らは、赤外線発光シートの取り外しを検知するセンサーを開発するとともに、センサーとの連動によりディスプレイに表示されているコンテンツを保護するシステムを開発した(図9参照)。

シートの2辺にはセンサーが取り付けられており、電圧計の入力端子に接続されている。電圧計の出力端子とパソコンはUSBケーブルで、パソコンとディスプレイはディスプレイケーブルで、それぞれ接続されている。センサーには電気的な印加が不要であり、曲げの力が加わることによって電圧を発生する(シートが、(a)または(b)のいずれかの方向に向かって取り外されたときに電圧を発生する)。パソコンには、電圧計から出力された電圧値をモニタリングするソフトウェアがインストールされており、電圧が閾値以上に

なったときにシートが取り外されていると判断して、画面と同じサイズの警告ウィンドウを表示する(当該ウィンドウにより、ディスプレイに表示されているコンテンツを撮影から保護する)。

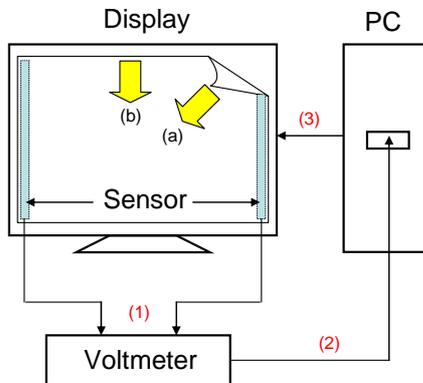


図9. シートの取り外しを検知するシステム

著者らは、システムが仕様通りに動作することを確認するために、センサーを取り付けた OHP シートを粘着力の弱い接着剤でディスプレイに貼り付けたあと、これをディスプレイから取り外した。その結果、システムは仕様通りに動作した。

3.3. シートのカットを検知するシステム

著者らは、刃物を用いて赤外線発光シートをカットし、画面の一部または全部を露出させて撮影を行う行為を想定し、刃物によるカットを検知するセンサーを開発するとともに、センサーとの連動によりディスプレイに表示されているコンテンツを保護するシステムを開発した。

シートの片側全面に、導電性をもつ極細の配線(一筆書きとなる繰り返し図形)を形成し、その端点(+極と一極)を抵抗計に接続する(線幅をミクロン単位にすることで、透明度を80%以上に高めることができる)。抵抗計の出力端子とパソコンはUSBケーブルで、パソコンとディスプレイはディスプレイケーブルで、それぞれ接続されている。パソコンには、抵抗計から出力された抵抗値をモニタリングするソフトウェアがインストールされており、抵抗が閾値以上になったときにシートがカットされたと判断して、前節と同様に、画面と同じサイズの警告ウィンドウを表示する。

著者らは、システムが仕様通りに動作することを確認するために、配線を形成したPETフィルムを用意してシステムに接続したあと、カッターナイフを用いて

フィルムの任意の部分をカットした。その結果、システムは仕様通りに動作した。

4. 対策2

本節では、2つの指標の達成を図るために、現在開発中の2つのシステムについて説明する。

4.1. 赤外線カットフィルターの存在検知

近赤外線を調査対象の物体に照射しながらその様子を撮影することで、物体の特徴を捉えることができる非破壊検査方法がある[9]。著者らは、この方法を応用してフィルターの存在検知を行う。図10に著者らのアイデアを示す。ディスプレイに近赤外線光源と複数のイメージングエリアをもつカメラを取り付け、数秒間隔で分光画像を撮影する。パソコンには分光画像を処理するソフトウェアをインストールし、画像中にカットフィルターが存在するか否かを判断させる。そして、フィルターの存在を検知している間は、コンテンツを保護するためのウィンドウを表示する。

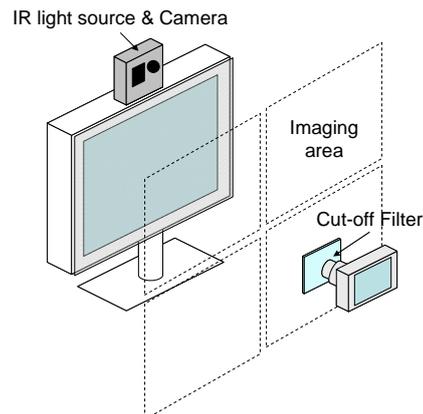


図10. フィルターの存在を検知するシステム(概要)

著者らは、LED 照射式分光イメージャー(HOTAL-10A、(有)スペクトルデザイン製)を用いて15検体の分光画像を撮影した(図11に、吸収型・反射型カットフィルター、ウール黒布、アルミ板、鏡、レース布の分光画像を示す。イメージャーから検体までの距離は40cm)。これによると、吸収型フィルターが存在する部分は真っ黒であり、反射型フィルターが存在する部分には赤外線の光源が写りこんでいる。その他の分光画像はこれらとは明らかに異なっている。著者らは、画像処理とパターンマッチングによってフィルターの存在と種類が検知できると考えている。

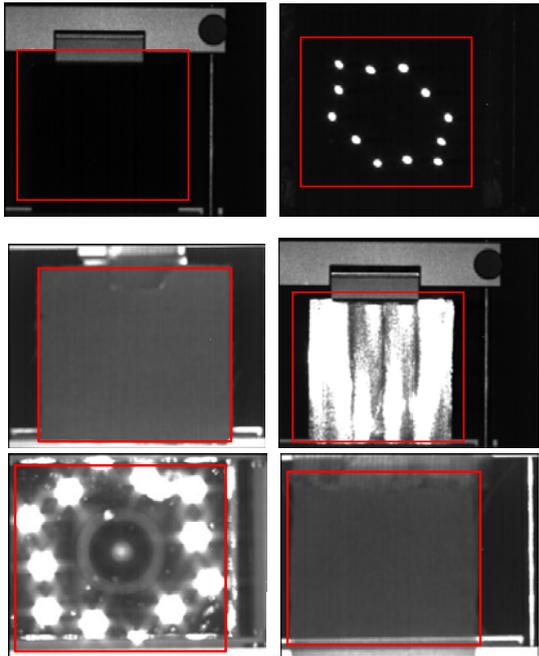


図 11. 吸収型フィルター(左上)、反射型フィルター(右上)、ウール黒布(左中央)、アルミ板(右中央)、鏡(左下)、レース布(右下)の分光画像

4.2. 撮影行為の検知

両手・片手・三脚などを用いてカメラを保持または固定して撮影していることを検知するために、著者らは kinect[10]を用いた撮影行為の検知システムを開発している。kinect はカメラと距離センサーを備えた motion detection sensor であり、人間の位置や動きをとらえることができる。発売当初から kinect の解析がユーザーにより行われており、パソコンで動作させるためのオープンソースのドライバーが開発・公開されている[11]。著者らは kinect プログラミングにより、図 12 に示すような環境下において、ディスプレイに正対している人の腕の動きを追跡したり、一定時間以上静止している物を検知したりすることで、撮影行為を検知できるソフトウェアの開発を行っている。

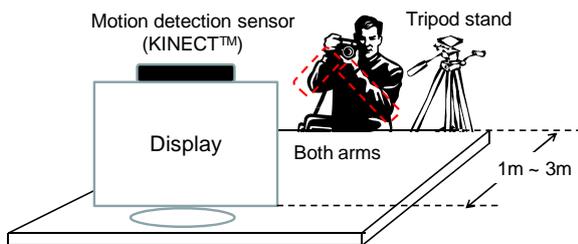


図 12. kinect を用いた撮影行為の検知(イメージ)

5. まとめ

本論文では、撮影によるコンテンツの持ち出しに対抗するための 2 つの対策を提案し、実験と考察により実現可能性が高いことを示した。今後は、実用性を高めるために、以下に示す研究開発を行う。

【対策 1】高い透明度と変換効率をもち、樹脂との屈折率が等しい蛍光体ガラスを作製したあと、これを用いたプロトタイプ製作と評価を行う。

【対策 2】より多くの検体の分光画像を取得したり、さまざまな状況下で実験を行ったりすることにより、分光画像処理システムと撮影行為検知システムの精度を向上させる。

謝辞

本研究は、徳島大学・寺田賢治教授、森輝瑠様、(株)クラレ・山下隆様、五鈴精工硝子(株)・長谷川忠様、サイエンスパーク(株)より、技術的なサポートをいただきました。なお本研究は、経済産業省の委託事業である平成 22 年度および平成 23 年度企業・個人の情報セキュリティ対策促進事業(新世代情報セキュリティ研究開発事業)による支援を受けました。

参考文献

- [1] Shutterfly, Share your videos for FERR on Shutterfly, <http://www.shutterfly.com/free-video-sharing/share-videos.jsp>
- [2] YouTube, <http://www.youtube.com>
- [3] CNN World, Japanese coast guard member admits to leaking collision video, http://articles.cnn.com/2010-11-10/world/japan.china.boat.video_1_crash-video-coast-guard-chinese-fishing?_s=PM:WORLD
- [4] IBNLive.com India, Sudhir Mishra's unreleased film leaked on YouTube, <http://ibnlive.in.com/news/sudhir-mishras-unreleased-film-leaked-on-youtube/108901-8.html>
- [5] Yamada, T., Gohshi, S., Echizen, I.: Re-shooting prevention based on difference between sensory perceptions of humans and devices, Proc. of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) (2010)
- [6] 越前功: 人間とデバイスの感度の違いを利用したディスプレイの盗撮防止技術, プレスリリース(2011/7/4), http://www.nii.ac.jp/userimg/NIIPress_iejchizen_110704.pdf
- [7] Yamada, T., Gohshi, S., Echizen, I.: Countermeasure of reshooting prevention against attack with infrared-cut filter, Proc. of the IPSJ Symposium on Computer Security (CSS) 2010, Japanese text.
- [8] Fuchi, S., Sakano, A., Takeda, Y.: Wideband Infrared Emission from Yb³⁺- and Nd³⁺-Doped Bi₂O₃-B₂O₃ Glass Phosphor for an Optical Coherence Tomography Light Source, Japanese Journal of Applied Physics, pp.7932-7935 (2008)
- [9] Driver, D., Didona, K.: On-line High-Speed NIR Diffuse-Reflectance Imaging Spectroscopy In Food Quality Monitoring, <http://www.headwallphotonics.com/downloads/SPIE-NIR-Imaging.pdf>
- [10] Microsoft: Kinect, <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>
- [11] 中村薫: KINECT センサープログラミング, 秀和システム, (2011/05)