

RefrigeMeter: 冷蔵庫における保存状況の手軽な 検出/提示システムとその運用

三久保 莉也[†] 塚田 浩二^{††} 椎尾 一郎^{†††}

冷蔵庫に食べ物を置きっぱなしにしてしまい、駄目になってしまうことは多い。そこで、本研究では冷蔵庫の棚板上に物が置かれた場所を検出し、その継続時間をユーザにわかりやすく通知するシステム「RefrigeMeter」を提案する。「RefrigeMeter」は、LEDを格子状に配列した基板と、その上部にはめ込むアクリル板を中心に構成される。本システムは、まず、LEDを光センサとして活用し、棚上に物が置かれている領域を取得し、その履歴から任意の領域に物が置かれ続けている時間を計測する。さらに、その継続時間に応じて、各領域のLEDを異なる周期で点滅する。このように、ユーザは特別な作業を必要とせず、冷蔵庫内の保存状況（棚板上の物の有無/継続保存時間）を視覚的に区別することができる。また、本システムを試験的に運用して得られた知見から、現状の問題点と今後の展望について議論した。

RefrigeMeter: Automatic detect/display system for items in refrigerator

MARINA MIKUBO,[†] KOJI TSUKADA^{††} and ITIRO SHIO^{†††}

People often have problems to leave foods in refrigerators too long time and spoil them. To solve this problem, we propose a very simple interactive surface, "RefrigeMeter", which can automatically detect the positions of items placed in the refrigerator and informs users of their duration. The RefrigeMeter consists of LED arrays, a micro controller, and an acrylic board to cover these devices. First, the system detects positions where items placed on the shelf using LEDs as photo diodes. Second, the system calculates the duration while each item keeps its position. Third, the system activates the LEDs in different frequencies based on the duration of items on each LED. Thus, users can tell the status of items in refrigerator at a glance without any special operation. In this paper, we explain the concept and implementation of the RefrigeMeter. Moreover, we discuss on the problems of the prototype and future work based on the trial operation.

1. はじめに

冷蔵庫に食べ物をしまったことを忘れてしまいうっかり腐らせてしまった経験は多くの人が体験したことがあるだろう。原因として、どれをいつ入れたかが一覽できない、冷蔵庫に物が多い場合奥に置いたものが見えず忘れてしまう、ということが考えられる。こう

した問題を防ぐべく、冷蔵庫に入れた食品の賞味期限などを登録するシステムは多数提案されているが⁷⁾、その多くは手動で登録作業が必要であり、ユーザの負担が大きく、継続的な利用が困難な問題があった。そこで、我々は、ユーザに特別な作業を強いることなく、冷蔵庫内の利用状況を視覚的に提示するシステム「RefrigeMeter」を提案する。

2. RefrigeMeter

RefrigeMeterは冷蔵庫の棚に検出機構と提示機構を一体化して組み込むことで、ユーザが通常通り物を出し入れするだけで、大まかな保存状況を視覚的に確認できるよう設計した。また、シンプルかつ低価格な構成とするために、検出/提示機構の両方にLEDを利用した。LEDを物体検出のための光センサおよび、情報提示のための照明として二種類の用途に利用する。

[†] お茶の水女子大学 理学部 情報科学科
Ochanomizu University, Department of Information Sciences

^{††} お茶の水女子大学 お茶大アカデミックプロダクション/科学学術振興機構 さきがけ
Ochanomizu University, Ochadai Academic Production/JST PRESTO

^{†††} お茶の水女子大学 人間文化創成科学研究科 理学専攻
Ochanomizu University, Graduate School of Humanities and Sciences

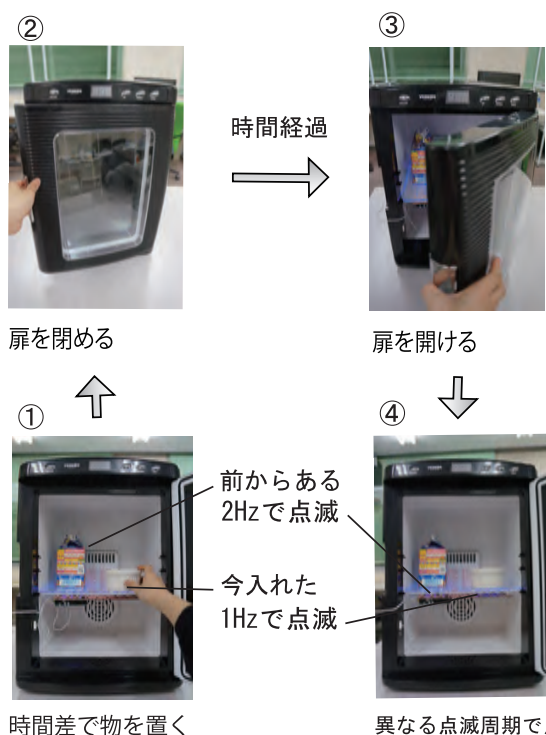


図 1 RefrigeMeter のコンセプト. 時間をあけて複数の物を冷蔵庫の棚上に置くと、物の下部の LED が異なる周期で点灯し、保存状況を通知する。

Fig. 1 The RefrigeMeter concept: When a user puts items in the refrigerator, the system informs the status of the items by activating the LEDs.

この検出／提示機構により、棚上に物が置かれている領域を取得し、その履歴に基づいて物が置かれている領域の LED を駆動する。この際、任意の領域に物が置かれ続けている時間に応じて、各領域の LED の点滅周期に変化をつける。本システムでは、長い間置かれているほど点滅周期が早くなる (図 1)。

3. 実 装

我々は、2 種類のサイズの冷蔵庫用に 2 つの基板を作成した。

まず、プロトタイプ 1 について説明する。著者らの研究室の冷蔵庫 (三菱製 MR-16B) に合わせて、透明の亚克力板を加工して 260mm × 375mm の棚を試作した (図 3)。亚克力板には基板の LED がはまるように半径 25mm の穴を開けた。次に、基板^{☆1}に 3 × 9 のマトリクス状に LED を配置した。各 LED 間の距離は、牛乳パック (70mm × 70mm) などのサイズに対応でき、LED の個数を一定数以下に抑える^{☆2}こ

^{☆1} 棚の利用可能範囲は (215mm × 345mm) だが、今回は基板加工機の最大加工サイズの制約で縮小版 (200mm × 250mm) を設計した。今後、プリント基板の作成を予定している。

^{☆2} LED 密度をあげれば細かい検出が可能だが、コストや応答速度

とを考慮して、60mm × 25mm とした (図 2)。

次に、小型冷蔵庫 (VERSOS VS-401) に合わせて、230mm × 260mm の棚を作成した (プロトタイプ 2)。棚用の亚克力板は、3mm の白色亚克力板と 5mm の透明亚克力板を重ね合わせた物を使用した (図 3)。基板のサイズは 160mm × 220mm (棚の利用可能最大範囲) で作成し、6 × 10 のマトリクス状に LED を配置した。各 LED 間の距離は、25mm × 25mm である (図 2)。

亚克力板と基板は、上下 6 か所のスペーサーで固定した。さらに、冷蔵庫の扉の開閉を検出するため、リードスイッチを用いる。LED とリードスイッチの制御は Arduino Uno^{☆3}で行う。基板サイズと LED の個数以外のデバイス構成は、両プロトタイプとも同じである (図 4)。

3.1 物体検出機構

LED は、逆バイアス電圧をかけて、カソード側の電圧降下時間を計測することで、光センサとして利用することができる¹⁾。ここで、入射光が少ないほど、電圧降下時間は長くなるため、これを比較することで LED 上の物の有無を判断する。

このセンシング方式は環境光の変化に弱いが、冷蔵庫のように閉鎖空間に照明がついている状態では明るさが一定になるため、実用上問題ないと考えた。

本システムでは、閉扉時にセンシングを行うが、光センサを用いたセンシングには、前述のように一定の環境光が必要である。当初は、冷蔵庫の組み込みの照明^{☆4}を利用することを検討したが、調査の結果ほとんどの冷蔵庫は閉扉時にすぐに照明が消えてしまい、センシングの際の環境光としては利用しにくいことが判明した。よって代替案として、センシング対象以外の LED を照明として利用する^{☆5}ことで、環境光を補うことにした (図 5)。この状況はセンサの下部に光源を設置する状況になり、物が置いてあると光源からの光が底に反射して戻ってくるため、電圧降下時間が短くなる。

3.2 検出／情報提示の流れ

本システムでは、冷蔵庫の開閉をトリガとして、物体検出／情報提示を行う。以下、本システムの流れを

とのトレードオフがある。

^{☆3} <http://www.arduino.cc/>

^{☆4} 多くの冷蔵庫には組み込みの照明がついている。

^{☆5} ただし、センシングしている行／列の LED を点滅させることはできない

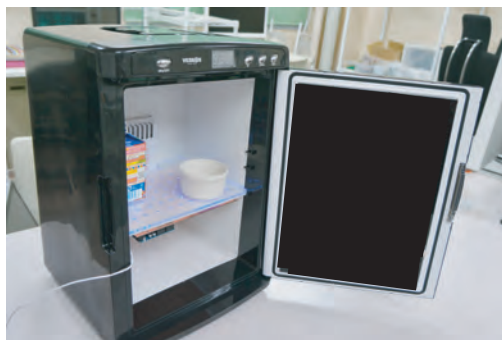
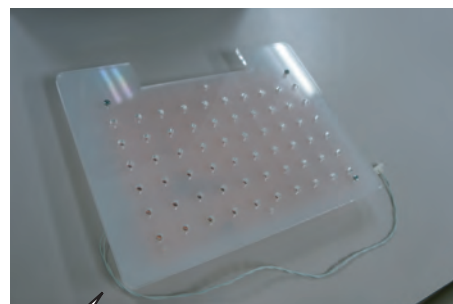


図 2 RefrigeMeter の利用例
 (左:プロトタイプ 1. 通常の冷蔵庫に配置, 右:プロトタイプ 2. 小型冷蔵庫に設置)
 Fig. 2 Usages of the RefrigeMeter prototypes.(left:prototype1 is attached in a common refrigerator. right:prototype2 is attached in a compact one.)



透明アクリル板



透明アクリル板
 白アクリル板

図 3 RefregiMeter のプロトタイプ外観 (左:プロトタイプ 1, 右:プロトタイプ 2)
 Fig. 3 Appearances of the prototypes (left:prototype1, right:prototype2)

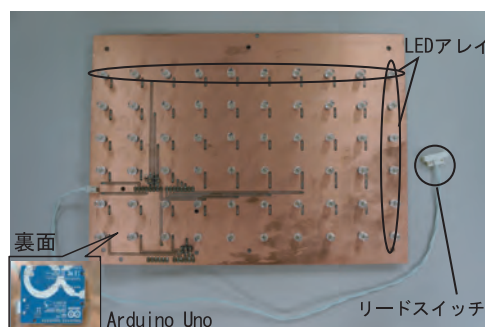
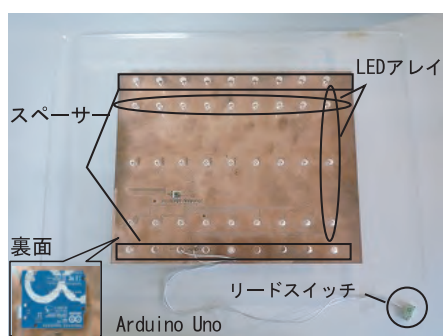


図 4 RefrigeMeter のデバイス構成 (左:プロトタイプ 1, 右:プロトタイプ 2)
 Fig. 4 Device Architectures of the RefrigeMeter(left:prototype1, right:prototype2)

説明する。

0. システム起動時, 冷蔵庫に何も置いてない場合の各 LED の電圧降下時間を数回計測し, その最大値と最小値の差 (計測誤差) を元に各 LED 上の物の有無判定の閾値を設定する。

1. 冷蔵庫が閉じられると, システムは各 LED の電

圧降下時間を検出/記録する。

2. 各 LED において, 電圧降下時間が閾値を超えている場合, 物が置かれている (ON) と判定する。

3. 冷蔵庫が開くと, 各 LED において, ON と判定され続けた継続時間を計算・記録する。

4. 継続時間の長さによって点滅周期を変化させて,

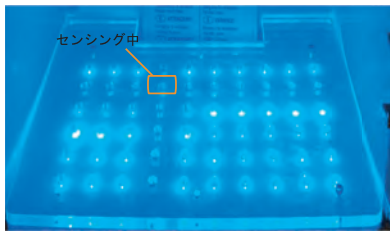


図 5 LED を用いた状態検出の様子。センシング中の LED 以外を照明として利用する。

Fig. 5 Detecting the status of items using LEDs.



図 6 LED を用いた情報提示の様子。各 LED が異なる周期で点灯する

Fig. 6 Presenting information using LEDs. Each LED blinks in different frequencies.

各 LED を点灯する (図 6)。継続時間が長い場合は点滅周期が短くなる。

4. 議 論

本セクションでは、実際にプロトタイプを運用して得られた知見に基づき、センシング精度、状態認識、及び情報提示について議論する。

4.1 センシング精度

ここでは、LED の光センサとして扱う際のセンシング精度について議論する。まず、プロトタイプ 1 / 2 の LED の配置とアクリル板の違いとその理由について述べ、さらに保存物の反射率や低温下での動作に伴うデバイスの性能変化について述べる

4.1.1 LED マトリクスの配置

まず、LED のマトリクスの配置については、両プロトタイプとも、Arduino のポート数による制約から、LED の最大個数を決定した。一方、プロトタイプ 1 はプロトタイプ 2 より対応する冷蔵庫のサイズが大きかったため、結果的に LED の密度が低くなっている。

3.1 で述べたように、当初我々は冷蔵庫内の照明をセンシング時の環境光として利用することを検討しており、この場合は LED の密度がセンシング精度に与える影響は限定的だった。しかし、最終的には LED 自体をセンシング時の光源としても利用する設計に変

更したため、プロトタイプ 1 の LED 密度では光が隣接する LED まで十分にいきわたらず、センシング精度が不十分な問題が起こってしまった。

一方、プロトタイプ 2 では LED の密度が倍程度になっているため、十分なセンシング精度を確保することができた。

なお、プロトタイプ 1 程度の LED 密度でも、4.1.3 で議論するような上部にミラーを設置する方法を併用すれば、十分な光源を確保できる可能性があるため、今後検証していきたい。

4.1.2 アクリル板の機能

本システムでは LED マトリクスの上にアクリル板を重ねた構成となっている。このアクリル板は単なる棚としての役割だけでなく、LED のセンシング範囲 / 照射範囲を調整する役割も持っている。図 7 に示すように、我々は 3 種類のアクリル板を用いて実験を行った。

まず、プロトタイプ 1 とプロトタイプ 2 の初期段階では、LED の照射範囲を重視して、透明のアクリル板を利用した。この場合、上に物が置かれた場合でも光が拡散するため、情報提示の際に視認しやすい利点がある。一方、センシング性能がかなり悪くなる問題があった。これはおそらく、上に物が置かれていても光がアクリル板を通して回り込んでしまうことが原因のように推察された。そこで、側面からの入射光を制限するためにプロトタイプ 2 の第二段階では白アクリル板を採用した。その結果、センシング精度は十分向上したが、情報提示において上に物が置かれた場合に、LED の点滅がほとんどに確認できなくなってしまう問題があった。

こうした経緯を経て、プロトタイプ 2 の第三段階では透明アクリル板と白アクリル板を上下に重ねたものを独自に作成して利用した。この際、下側の白アクリル板でセンシング時の光のまわり込みを制限しつつ、上部に透明アクリル板があることで、情報提示時に光がある程度拡散し、上に物を置いている場合でも LED の点滅を認識できるように各アクリル板の厚みなどを調整した[☆]。

4.1.3 保存物の反射率

現在のシステムはフォトリフレクタなどと同様に、置く物の底の色によってセンシング精度が変化する。

[☆] 白アクリル板は 3mm、透明アクリル板は 5mm とした。また、スペーサーで基板とアクリル板との距離を調整し、LED の先端部がちょうど白アクリル板の上にくるようにした。



図 7 アクリル板の遷移。アクリル板によってセンシング／情報提示性能に大きな影響があった。

Fig. 7 Acrylic boards used in the prototypes. Each board has own characteristic that influences performances of detection/display functions.

底が白い場合は精度が良いが、黒色は検出が難しい。これは色による光の反射率の違いが原因である。色に関係なく精度を安定させる方法として、(1) 2面基板を上下に重ねて下向き LED を検出時に照明代わりに使う、(2) 他のセンサを併用する、(3) 上面にミラーを付けて LED の明かりを反射させて照明代わりに使う、などが考えられる。

現段階では、本検出方法の特徴（安価でシンプルな実装）を活かす点で、(3) を有力な解決方法であると考えている。

4.1.4 低温下での性能変化

ここでは、システムを低温の冷蔵庫環境で運用した際の影響を調査するために、前述の小型冷蔵庫（VER-SOS VS-401）を 4℃ に設定し、4 時間デバイスを内部で稼働させた後のセンシングの性能変化を観察した。その結果、上に何も物を置かない場合の各 LED の電圧降下時間は、表 1 のように、当初の 0.19 秒から 0.07 秒まで減少した。この原因は正確には特定できていないが、温度低下により LED の電気的特性が変化していることが影響しているように感じられた。この問題の解決策としては、現在システム起動時のみ行っている閾値の設定を定期的に更新する方法が考えられる。

表 1 低温下でのセンシング性能の変化

Table 1 Performance of detection function at low temperature.

	時間経過 (時)				
	0	1	2	3	4
電圧降下時間 (秒)	0.19	0.16	0.12	0.10	0.07

4.2 状態認識

ここでは、物の有無を判断する状態認識機能に関連する 2 つの問題とその解決手段について議論する。一つは、冷蔵庫内に置いていた物を別の場所に移動して

扉を閉めた場合、新しい物として認識してしまうという問題である。もう一つは、保存可能期間が短期の物と長期の物が区別できない問題である。

4.2.1 物の移動の検出

現在の状態検出手法では、一度冷蔵庫内に置いていた物を別の場所に移動して扉を閉めた場合、新しい物として認識されてしまう。解決手段としては、(1) 物の反射率を活用する、(2) LED の密度を上げる、(3) 新規センサを利用する、などが考えられる。

(1) は、センシング時の物体の反射率により電圧降下時間が変化することを利用して、棚上の物体の移動を推定する手法である。(2) は、LED 密度を上げることで置かれた物体の形状を認識し、その形状を用いて物体の移動を推定する手法である。(3) は、重量センサやカメラなど新たなデバイスを補助的に利用する手法である。

本研究の特徴を最大限に生かすためにはできれば追加デバイスを一切必要としない (1) の手法でこの問題は解決したいが、物体による反射率だけでは十分な判定が難しい状況も考えられるため、(2) の手法も検討していきたい。

4.2.2 保存可能期間の区別

現在のシステムでは、個々の保存物の判定をしないため、保存期間の異なる物でも同一の情報提示しか行うことができない。この問題に対するポリシーとしては、個々の賞味期限に基づいてユーザに通知する方法と、賞味期限に関係なく一定時間収納されていたら通知する方法の 2 通りが考えられる。

ここで、主に日常的に料理を行う人（主婦など 6 名）にインタビューしたところ、賞味期限で管理するより、冷蔵庫に入れてからの経過時間が重要であるため一定時間が経過すると知らせてくれるシステムの方がよいという意見を得た。理由として、「長期保存可能なものでも賞味期限まで残しておくとも味が落ちてしまうから」「惣菜は早く食べてしまいたいから」などを挙げている。こうしたインタビュー結果から、賞味期限管理の問題については、あえて考慮しない手法も一考の価値があると考えられる。

一方、賞味期限を加味したい場合は現システムにインタラクションに基づく機械学習を加えることで対応できると思われる。すなわち、システムからの通知に対してユーザが無視し続けた場合、賞味期限が長いものだとシステムが判断する、という手法である。

4.3 情報提示

ここでは、ユーザに情報提示を行うための LED の点滅方法について議論する。

本システムでは、点滅周期を変化させることで、物が置かれている継続時間を視覚的に区別している。現在、継続時間はシステムの3段階で区分して、継続時間が長い方が点滅周期を早くすることで、ユーザの注目度を上げている。情報提示手法は複数検討しており、たとえば、物が置いてある日数を点滅周期にする方法（1日なら1回、5日なら5回など）を検討している。他にも LED の明るさ/周波数などを工夫したさまざまな情報提示手法が考えられるため、今後はユーザテストを通して適切な手法を検証したい。

5. 関連研究

冷蔵庫内部における物の管理を支援するシステムとして、RFID などを用いて食品を識別しデータベースに登録することで管理をする方式⁷⁾が提案されている。しかし、この手法では食品名、数量、賞味期限などのデータをユーザが入力しなければならず、ユーザに負担がかかる。

収納物の管理の支援としては、2次元コードと写真を利用した収納箱用物探し支援システム²⁾が提案されている。物探し支援として、位置計測に超音波方式と Active RFID を用い、ユーザから要求があった時に視覚情報（スポットライト）によりその位置を提示するシステム⁶⁾が提案されている。他にも、あらかじめオブジェクトを登録しておけば、ユーザが最後にオブジェクトを把握した時点の映像を検索し、オブジェクトを置いた場所を思い出すことができるウェアラブルシステム⁵⁾も提案されている。このようにいろいろな領域で物探しの研究は行われているが、本システムは冷蔵庫内という比較的狭い空間内での管理、あまり重ねて収納しないという特徴を活かし、物を置く棚部分にセンサを組み込むことで収納物の管理を支援する。

また、TouchCounter³⁾は収納箱の開閉頻度を検出し、その履歴を LED マトリクスで提示する。RefrigeMeter は、平面の棚上の物の利用履歴をシンプル/ローコストに検出/提示できる手法を提案している。Hudson¹⁾、秋田⁴⁾らは、LED マトリクスを光センサとして利用し、タッチセンサやレーザーポインタを用いた描画タイルとして利用する手法を提案した。我々は、こうした LED をセンサ/ディスプレイ用途に併用する手法を、生活の中で活用するアプリケーションに応用した。

6. まとめ

本研究では、ユーザが通常と異なる行為をせずに冷蔵庫内の物の保存状況を把握できるシステム「RefrigeMeter」を提案した。冷蔵庫内での長時間の置きっぱなしを防ぎたいという要望があること、冷蔵庫内では一つの棚にあまり物を重ねて置かないという点に注目し本システムの開発に至った。本システムでは、冷蔵庫の棚に LED を用いた検出/提示機構を一体化して組み込むことで、ユーザが物を出し入れするだけで、大まかな保存状況を視覚的に確認することができる。今後は、検出精度の改善として機械学習を組み込むことや、提示手法改良のためユーザテストを行いたい。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構さきがけプログラムの支援を受けた。

参考文献

- 1) S.E.Hudson. Using light emitting diode arrays as touch-sensitive input and output devices. In *Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 287–290, 2004.
- 2) M.Komatsuzaki, K.Tsukada, I.Siio. DrawerFinder: finding items in storage boxes using pictures and visual markers. In *Proceedings of the 16th international conference on Intelligent user interfaces*, pp. 363–366, 2011.
- 3) H.P.Yarin. TouchCounters: designing interactive electronic labels for physical containers. In *CHI '00 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 18–19, 2000.
- 4) 秋田 純一. パターン入力と連結拡張が可能なインタラクティブマトリクス LED ユニット. *情報処理学会論文誌*, Vol.6, No.2, pp. 733–736, 2011.
- 5) 河野 恭之 木戸出正継 上岡隆宏. I'm Here!: 物探しを効率化するウェアラブルシステム. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol.6, No.3, pp. 19–30, 2004.
- 6) 国藤進 中田豊久. スポットライトを用いた屋内での探し物発見支援システム. *情報処理学会論文誌*, Vol.48, No.12, pp. 3962–3976, 2007.
- 7) 金子 紋子, 増永 良文. RFID を用いたインテリジェント冷蔵庫システムの構成. *社会法人 情報処理学会 研究報告* Vol.4, No.2, pp. 539–546, 2005.