

待機電力を削減した ネットワーク更新型電子ペーパーサイネージの開発と評価

秋葉 貴文¹ 湯村 翼¹

概要: 電子ペーパーサイネージ (Electric Paper Signage : EPS) は、バス停やメニュー表といった様々な活用がされている。EPS の種類のひとつに、インターネット経由でコンテンツの更新を行うネットワーク更新型 EPS がある。ネットワーク更新型 EPS は、制御を行うコンピュータが、コンテンツの待ち受けのために電力を常時消費してしまう。そのため、待機電力が不要という電子ペーパーの特徴を活かせないことが課題である。この課題を解決するために、本研究では、通信待機時に使用する電力を削減するネットワーク更新型電子ペーパーサイネージを提案し消費電力について評価を行った。

キーワード: 電子ペーパー, サイネージ, 省電力

1. はじめに

デジタルサイネージは、デジタル技術を用いた看板として活用され情報や広告などを伝達する手段として使われる。ディスプレイには、主に液晶ディスプレイが使用され、画像や動画のメディア形式に対応している。

電子ペーパー技術は、紙に近い視覚的な体験をデジタルデバイスで提供するために開発された表示技術である。主な特徴は、低消費電力、高視認性の2つが挙げられる。電子ペーパーのディスプレイは、外光を反射して画像を表示するため、直射日光下でも鮮明に読むことができる。背光を必要とする従来の LCD や LED ディスプレイとは対照的である。活用例として、電子書籍リーダー [1] や電子看板 [2]、価格表示タグ [3] で使用されている。

デジタルサイネージの種類の1つに電子ペーパー技術を活用した、電子ペーパーサイネージ (Electric Paper Signage : EPS) がある [2]。EPS は、電子ペーパーディスプレイを用いた静止画の表示に特化したサイネージである。電子ペーパーディスプレイは、画面の更新後に電力を消費せず画面を保持できるため、低消費電力という特徴を持つ。電子ペーパーサイネージは、オフィスビルのフロア案内 [4] やインフォメーションボード [5] として活用が行われている。ネットワーク更新型 EPS は、バス停型や既存掲示板設置型 [2] がある。

EPS の更新方式の種類の1つにインターネット経由でコ

ンテンツの更新を行うネットワーク更新型 EPS がある [2]。ネットワーク更新型 EPS では、電子ペーパーの制御を行うコンピュータが、コンテンツの待ち受けのために電力を常時消費してしまう。そのため、待機電力が不要という電子ペーパーの特徴を活かせないことが課題である。この課題を解決するために、本研究では通信待機時に使用する電力を削減するネットワーク更新型 EPS を提案する。

2. 関連研究

鈴木らの研究では、バス停の動的な情報の提供・表示において、ワンソースで仕様の異なる電子ペーパーに最適にコンテンツが表示できるスマートバス停を試作を行った。 [6]

新田らの研究では、ノーマリーオフバス停の実装と消費電力の評価を行った [7]。ノーマリーオフバス停は、人感センサにより人の接近を検知した時のみメイン機能の起動を行うことで低消費電力化を実現する。提案システムでは、独立電源で数年間運用可能な水準の消費電力であることが明らかにされた。

これらの論文では、電子ペーパーを用いたシステムについての研究が行われている。関連研究でも省電力化の工夫は行われているが、ネットワーク経由での起動を前提としていない。本研究では、ネットワーク経由で起動するシステムの省電力化を対象とする。

¹ 北海道情報大学

3. 提案手法

本研究では、ネットワーク更新型 EPS をノーマリーオフ化することにより省電力化を図る。ノーマリーオフ [8] とは、使わないときには電源を切るという考え方である。

ネットワーク更新型 EPS では、インターネット経由で送信される更新コンテンツを待ち受ける。コンテンツを受け取り電子ペーパーディスプレイへ表示する処理は、EPS に内蔵される制御 PC が担う。既存のネットワーク更新型 EPS では、制御 PC が常時起動しており、常に電力を消費する。一方、提案手法では、制御 PC の電源はオフが基本状態となる。コンテンツを更新する際に、通知を受け取って制御 PC を起動する。電子ペーパーディスプレイの更新が完了したら制御 PC の電源を落とす。このようにして制御 PC の起動状態の時間を減らし、消費電力を削減する。我々はノーマリーオフを用いた EPS を実現するシステムをノーマリーオフ・ネットワーク型電子ペーパーサインエージ (Normally-off Network Electronic Paper Signage : NNEPS) と名付けた。既存のネットワーク更新型 EPS と NNEPS の比較を図 1 に示す。

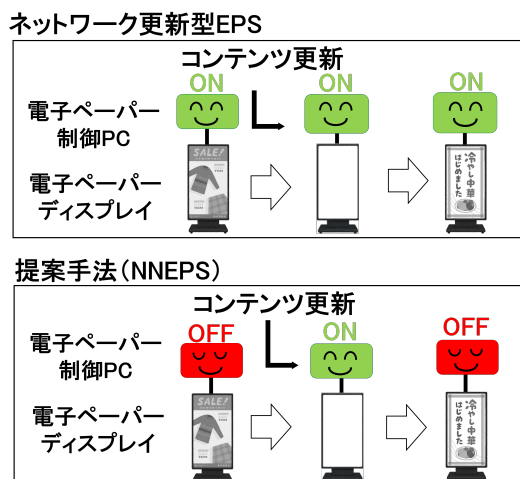


図 1 既存手法と提案手法の比較

4. 設計

4.1 システム構成

NNEPS のシステム構成図を図 2 に示す。NNEPS を実現するために、起動とコンテンツ更新についてサーバから細やかな制御を行うよう設計した。コンテンツ更新端末は、コンテンツ送信者を表し、コンテンツ管理サーバから制御を行う。

NNEPS は電子ペーパー、電子ペーパー制御 PC、電源制御プラグにより構成される (図 3)。電子ペーパーはディスプレイ部分である。電子ペーパー制御 PC は、電子ペーパーの更新に関する処理を行う。電源制御プラグは、通信

機能をオンにした状態で待機し、画面更新の必要に応じて電子ペーパー制御 PC への給電のオン、オフを切り替える。電源制御プラグが電子ペーパー制御 PC への給電を制御することにより EPS のノーマリーオフ化を行う。



図 2 システム構成図



図 3 NNEPS の構成要素

4.2 画面更新フロー

起動制御、コンテンツ更新制御の通信では、MQTT を使用する。MQTT は Publish-Subscribe 方式であるため、コンテンツの配信に適している。また EPS に用いられる HTTP と比べヘッダーサイズが小さいことから処理にかかる電力消費を削減できるため採用した。

図 4 に NNEPS の画面更新シーケンスを示す。画面更新は次の通りに進む。

- (1) コンテンツ更新端末からコンテンツ管理サーバへコンテンツのアップロード
- (2) コンテンツ管理サーバから電源制御プラグへ起動指示
- (3) 電源制御プラグは電子ペーパー制御 PC へ給電を開始
- (4) 電子ペーパー制御 PC はコンテンツ管理サーバへ起動完了通知を送信
- (5) コンテンツ管理サーバは、起動完了通知をトリガーとしてコンテンツの送信を開始
- (6) 電子ペーパー制御 PC は受信したコンテンツを電子ペーパーへ反映させ、更新完了通知を送信後にシャットダウン処理を行う
- (7) 電源制御 PC は更新完了通知を受信後、電子ペーパー制御 PC への給電を遮断する

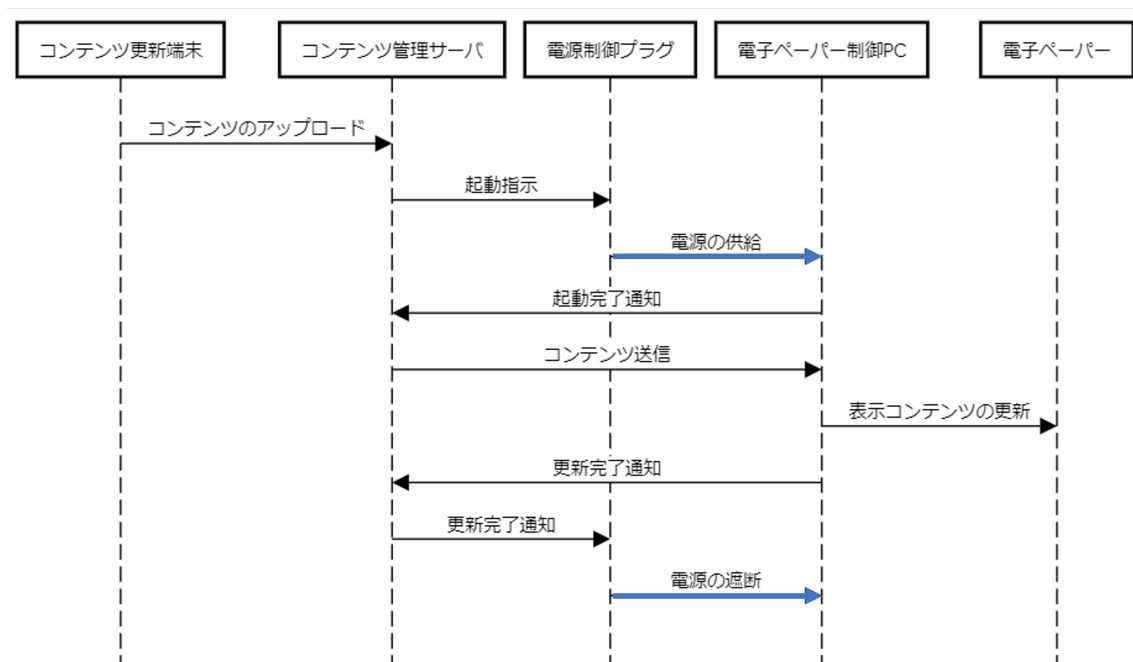


図 4 画面更新シーケンス

5. 実装

電源制御プラグについて2つのバージョンで実装を行った。また、コンテンツ管理及び画面更新操作を行うためのコンテンツ管理ページを実装した。

5.1 EPS のノーマリーオフ化 (Ver.A)

電源制御プラグに SwitchBot スマートプラグミニを用いて、NNEPS を実装した。SwitchBot スマートプラグミニには、給電のオンとオフを切り替える電源制御の WebAPI が用意され、Wi-Fi 経由でアクセスすることができる。この WebAPI へアクセスすることによって、電子ペーパー制御 PC への給電を管理する。電子ペーパーディスプレイには Waveshare 社製の 10.3 インチ電子ペーパーディスプレイ、電子ペーパー制御 PC 及びコンテンツ管理、電源管理 PC サーバには Raspberry Pi 4 Model B を用いた (図 5)。電子ペーパー制御 PC 及びコンテンツ更新サーバ、電源管理 PC のプログラムは Python を用いて実装を行った。

電源制御プラグは、電子ペーパー制御 PC よりも待機電力は小さいものの、常時待機電力を消費する。Ver.A の実装では、EPS1 台に対して電源制御 PC が 1 台必要になるため、電力削減の効果が小さい点が課題である。

5.2 複数台の EPS を制御 (Ver.B)

Ver.A での課題を解決するために、1 台の電源制御プラグで複数台の EPS を制御できるよう実装する。Ver.A で用いた SwitchBot ミニプラグの代わりに、Ver.B ではマイコンとリレーモジュールを用いて電源制御プラグを実装した



図 5 NNEPS Ver.A

(図 6)。リレーモジュールは、電気信号を受けて電気回路のオン/オフを切り替えることができる。リレーモジュールを制御するマイコンには M5Stack Core2 for AWS を用いた。M5Stack には、MQTT での通知に応じてリレーモジュールのオン/オフを切り替えるファームウェアを実装した。

NNEPS Ver.B のシステム構成を図 7 に示す。リレーモジュールを使用し複数台の EPS を接続し、電源のオン/オフを管理することが可能となる (図 8)。画面更新の順序を以下に示す。

- (1) コンテンツ更新端末 (送信者) からコンテンツ管理サーバへ画像のアップロード
- (2) コンテンツ管理サーバから電源制御 PC へ起動指示を送信
- (3) 電源制御 PC はリレーユニットを操作し、電子ペーパー制御 PC への給電を行う

- (4) 起動した電子ペーパー制御 PC はコンテンツ管理サーバへ起動完了通知を送信する
- (5) コンテンツ管理サーバで起動完了通知の受信を確認すると電子ペーパー制御 PC へコンテンツを送信する
- (6) 電子ペーパー制御 PC は受信したコンテンツを電子ペーパーへ反映させ、電源制御 PC へ更新完了通知を送信しシャットダウン処理を実行する
- (7) 電源制御 PC は更新完了通知を受け取り、リレーモジュールを操作して給電を遮断する



図 6 NNEPS Ver.B の電源制御プラグ。M5Stack Core2 for AWS とリレーモジュールで構成。

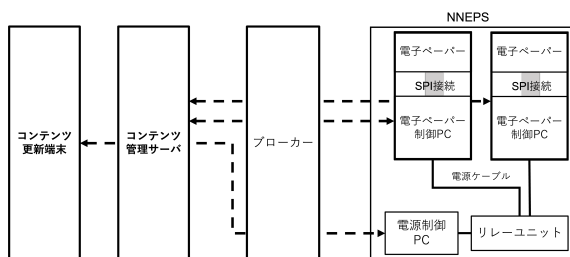


図 7 NNEPS Ver.B システム構成図

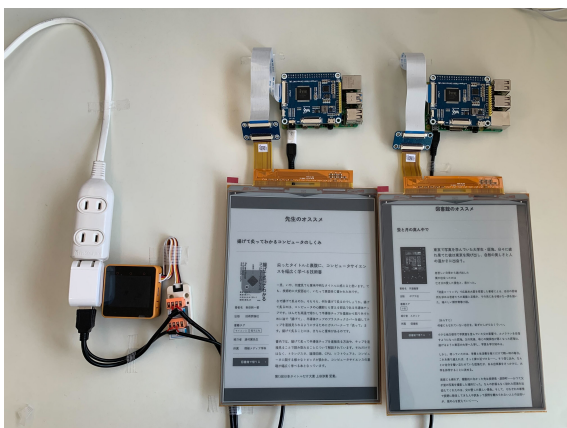


図 8 NNEPS Ver.B

5.3 コンテンツ管理ページ

NNEPS のコンテンツを一元管理し、NNEPS への更新作業をしやすくするために、コンテンツ管理ページの実装を行った(図9)。実装したコンテンツ管理機能は、NNEPS の画面更新操作、画像のアップロード、削除、閲覧である。コンテンツ管理ページは Web アプリケーションとして実装した。開発には Python の Web フレームワークの Flask を用いた。



図 9 コンテンツ管理ページ

6. 電力削減の評価

6.1 評価実験 1：既存手法との比較

評価実験 1 では、NNEPS の消費電力を計測し、常時電力を供給する既存手法と比較した。それぞれのシステムを用意し、ワットチェッカーにより消費電力を計測した。NNEPS の消費電力量は、電子ペーパー制御 PC と電源制御 PC が消費する電力を合計した値である。NNEPS では、リレーモジュールに EPS を 1 台接続した場合と 2 台接続した場合の 2 通りについて電力を計測した。EPS を 1 台接続した NNEPS を NNEPS-1、2 台接続したものを NNEPS-2 とした(図 10)。画面の更新頻度は 5 分に 1 度とし、1 時間の消費電力を計測した。

評価実験 1 の結果を図 11 に示す。消費電力は、電子ペーパー制御 PC が常時起動する既存手法では 1.88Wh、NNEPS-1 では、1.25Wh であった。この条件において、提案手法の NNEPS-1 は既存手法と比較して電力量を約 33% 削減した。NNEPS-2 では 2.81(Wh) となり、NNEPS-1 の 2 倍以上の値となった。この結果は実装の都合であると考えられる。

NNEPS で複数の EPS の制御を行う場合、画面更新を 1 台ずつ行うため、画面更新処理にかかる時間は接続台数に応じて延びる。NNEPS-1 では平均 85 秒で画面更新処理が完了するが、2 台の EPS を接続する場合には平均 108 秒かかる。NNEPS-2 の場合、後に更新される方の EPS の画面更新処理が完了した際に、両方の電子ペーパー制御 PC の電源遮断が行われる。そのため、2 台の電子ペーパー制御

PC のいずれも起動時間が延びた分の消費電力が増え、1 台接続した場合と比べて 2 倍以上となったと考えられる。

それぞれのシステムにおける、画面更新処理時の消費電力の時間変化を図 12 に示す。提案手法の NNEPS では、NNEPS-1 と NNEPS-2 の両方に通信待機時と画面更新時の消費電力が大きく変化していることがわかる。これは、電子ペーパー制御 PC の起動時に多くの電力を使用するためであると考えられる。また、NNEPS-2 は画面更新終了までにかかる時間が、NNEPS-1 と比べて長い。

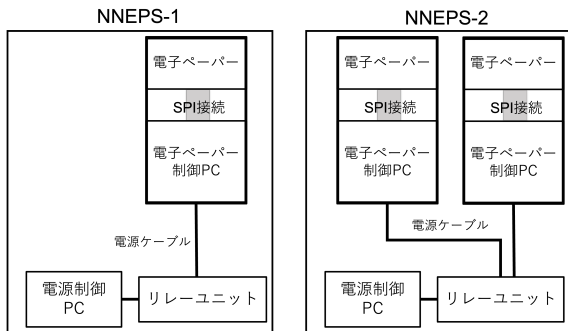


図 10 NNEPS-1, NNEPS-2 の構成図

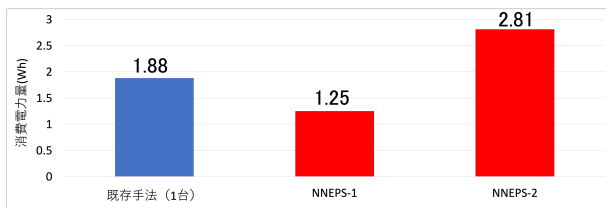


図 11 既存手法と提案手法の消費電力比較

6.2 評価実験 2：更新間隔の影響

評価実験 2 では、既存手法と NNEPS における、更新間隔の変化に応じた消費電力量を算出する。

評価実験 1 での計測結果 (表 1) をもとに、更新間隔を 1 時間、3 時間、12 時間、24 時間の 4 パターンの消費電力量を算出した。なお、システムの動作時間を 24 時間とし、NNEPS の EPS 接続台数は 1 台とした。

表 1 消費電力量の比較

	提案手法	既存手法
更新処理時消費電力	2.85(W)	2.3(W)
更新完了時間	85(秒)	17(秒)
通信待機時消費電力	0.7(W)	1.75(W)

評価実験 2 の結果を表 2 に示す。NNEPS では、既存手法と比べ消費電力を大きく削減することができた。EPS を複数稼働する場合には、NNEPS がより大きな電力削減効果を上げられることが期待できる。

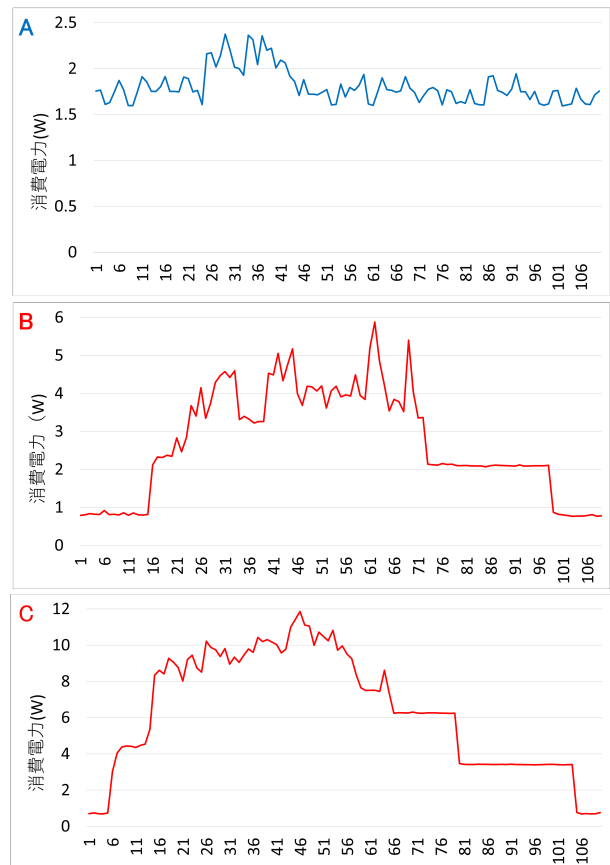


図 12 既存手法と提案手法の画面更新時の消費電力：(A) 既存手法 (B) NNEPS-1 (C) NNEPS-2

表 2 既存の EPS と NNEPS における、画面更新間隔を変化させた際の 24 時間あたりの消費電力量。単位はワット時 (Wh)。

更新間隔	既存の EPS	NNEPS
1 時間	42.062	18.018
3 時間	42.021	17.206
12 時間	42.005	16.902
24 時間	42.003	16.851

7. 学内での実証実験

本研究で開発を行った NNEPS が活躍する場面の調査を行うために実証実験 (図 13) を行った。北海道情報大学の図書館に 2 週間 NNEPS を設置し、来場者へアンケートを実施した。アンケートは Google フォームを利用して実施した。NNEPS では 15 分に 1 回、職員がおすすめする図書の紹介画像を切り替えて表示した。実施したアンケートには、来館者 6 名が回答した。アンケート項目を表 3 に示す。

Q2 「NNEPS が提供する情報は有用であると感じますか？」(1. いいえ ~ 5. はい) の 5 段階評価の平均値は、4.0 だった。5 段階評価中、3・4・5 と評価した人が同率で 2 名であった。Q3 「有用であると思う理由を教えてください」(自由記述) では、「場所を問わず設置ができるから。わざわざ本を立てかけるラックなどを準備する必要がなく

表 3 来館者へのアンケートの質問項目

番号	質問	選択肢
Q1	1 週間の図書館への来館頻度はどのくらいですか？	4～5 日/2～3 日/1 日未満
Q2	以前から電子ペーパーサイネージを知っていますか？	はい/いいえ
Q3	NNEPS が提供する情報は有用であると感じますか？	1. いいえ ～ 5. はい
Q4	有用であると思う理由を教えてください	自由記述
Q5	有用ではないと思う理由を教えてください	自由記述
Q6	NNEPS が表示する情報は見やすいですか？	1. 見えにくい ～ 5. 見やすい
Q7	見やすいと感じる理由を教えてください	自由記述
Q8	見えにくいと感じる理由を教えてください	自由記述
Q9	見えにくいと感じる理由を教えてください	自由記述
Q10	NNEPS の学内での活用例があれば教えてください	自由記述
Q11	その他活用例があれば教えてください	自由記述



図 13 学内図書館での実証実験

なるから」「多くの文庫の宣伝としては効率的であると思われる」「ディスプレイで表示するよりも場所をとらない」といった意見が挙げられた。電子ペーパーディスプレイは液晶ディスプレイと比べ、薄型で軽量であるため設置場所を自由に選択できる点を有用であると感じてる意見が多かった。

Q6「NNEPS が表示する情報は見やすいですか？」(1. 見えにくい～5. 見やすい)の5段階評価では、平均値が3.83だった。5段階評価中、4と評価した人が4名であった。Q7「見やすいと感じる理由を教えてください」(自由記述)では、2名が「液晶じゃないので反射しないところ」「手書きではなくデジタルの書体なため、スッキリしていて見やすい」と回答した。Q8「見えにくいと感じる理由を教えてください」(自由記述)では、「白黒であるから、多くの情報が載っていると文字が小さいから」「白黒で本の表紙が分かりにくい」といったディスプレイの大きさや表示可能な色域に対する回答が多かった。

8. おわりに

本研究では、提案手法が既存手法に比べ消費電力の削減に効果があることを確認した。今後は、NNEPS で制御する EPS の台数を増やす実装に取り組んでいきたい。NNEPS

は、EPS の電源供給を制御し、常時通信待機状態にあるコンピュータの台数を減らすことにより消費電力の削減を実現するため、接続できる EPS の台数が増えるほど効果を発揮する。今回の実装では、EPS を最大 2 台まで接続可能であったが画面更新処理を並列に行えないため電力を無駄に消費していた。画面更新の並列処理や更新にかかる時間の短縮、電子ペーパー制御 PC の最適化に取り組んでいきたい。

謝辞

本研究は、一般社団法人 新雪の北海道 IT クリエータ発掘・育成事業（新雪プログラム）に支援をいただき実施いたしました。心より感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] Amazon. Kindle (キンドル) 電子書籍リーダー. <https://www.amazon.co.jp/b?node=3933932051>.
- [2] Alpha Japan. E paper signage. <https://www.alpha-japan.co.jp/epd/eps.html>.
- [3] ヤマトサイネージ株式会社. 電子棚札・電子ペーパー — ヤマトサイネージ. <https://yamato-signage.com/digital-signage/es/>.
- [4] 株式会社クレア. オフィスビル案内 - 株式会社クレア crea co.,ltd. | 世界最大 42 インチ 電子ペーパーサイネージ. <https://www.crea2007.co.jp/pr/20230211c/>.
- [5] 株式会社クレア. 屋内店舗インフォメーションボード - 株式会社クレア crea co.,ltd. | 世界最大 42 インチ 電子ペーパーサイネージ. <https://www.crea2007.co.jp/pr/20220718b/>.
- [6] 鈴木秀和, 保下拓也, 松本幸正ほか. Iot バスロケーションシステムにおける電子ペーパー型スマートバス停の試作. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2019 論文集, Vol. 2019, pp. 1465-1471, 2019.
- [7] 新田健人, 長崎健, 戸田真志, 平田圭二, 松原仁ほか. ノーマリーオフ知的バス停実運用を想定した消費電力実装評価. 研究報告組込みシステム (EMB), Vol. 2015, No. 22, pp. 1-5, 2015.
- [8] 安藤功兒. 不揮発性デバイス-ノーマリーオフコンピュータは実現できるか. 電子情報通信学会誌= The journal of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Vol. 93, No. 11, pp. 913-917, 2010.