

ノーマリオフ知的バス停における電源管理機能評価

阿部 稿作^{†1} 長崎 健^{†1} 戸田 真志^{†2} 松原 仁^{†1} 平田 圭二^{†1}

概要：過疎地域での運用を想定したオンデマンドバスシステムで利用する知的バス停の開発を行ってきた。知的バス停とは利用者が操作することによってバスの呼び出しが行える通信機能を持ったバス停である。知的バス停は設置コストの削減のために自立電源での動作が求められる。過疎地域での運用にあたり利用者が少ないことを利用し、知的バス停はノーマリオフによって省電力化が図られている。本研究では計測した消費電力をもとに知的バス停の電源管理機能について評価を行う。

A Study on the Power Management Method of Normally-off to Intelligent Bus Stop

KOUSAKU ABE^{†1} TAKESHI NAGASAKI^{†1} MASASHI TODA^{†2} HITOSHI MATSUBARA^{†1} KEIJI HIRATA^{†1}

1. はじめに

近年様々な場所にセンサ端末が設置され、設置環境のセンシングなどが行われている。新潟県新潟市では水田にセンサ端末を設置し [1]、沖縄県南城市ではもずくの養殖場内にセンサ端末を設置して [2]、環境の様子をセンシングしている。また知的バス停を利用したオンデマンドバスシステムでは [3]、通信機能を持ったバス停である知的バス停を公共施設の屋外や歩道上に設置し、利用者は知的バス停を操作することによってバスの呼び出しを行う。これらのようなセンサ端末の設置にあたり、電源の確保が難しい場所に設置する場合や電源工事のコストを削減する必要がある場合に、センサ端末はバッテリーなどを利用して自立電源で動作することが求められる。自立電源で動作するセンサ端末においてはバッテリー交換などのコストを削減するために、システムの省電力化を行う必要がある。本研究ではオンデマンドバスシステムで利用する知的バス停の開発を行った。知的バス停はシステムの省電力化のためノーマリオフが適用されている。ノーマリオフとはシステム内の利用していないデバイスの電源を遮断する手法であり、知

的バス停においては利用者がいないときの消費電力を大きく削減することができる。ノーマリオフを適用するにあたり知的バス停には利用者検出機能が実装されており、利用者検出では焦電センサによる判定に加え、カメラを用いて画像処理を行う。画像処理を行うのは知的バス停の前を素通りする人と近づいてくる人を区別するためである。また知的バス停には性能の異なる2つのCPUを持っている。周期的に実行するタスクや実行頻度が高いタスクを低消費電力なCPUで実行することによって高性能なCPUの動作時間が減り、CPU全体の消費電力を削減することができる。またアプリケーションを実装するにあたり、それぞれのCPUにタスクを静的に割り振る形で実装することによって、命令セットに依存することなくCPUの組み合わせを選択できる。本研究ではこれまでに実地実験を行い知的バス停の利用モデルを作成した。作成した利用モデルを表1に示す。この利用モデルを用いて知的バス停の消費電力量の計測を行った。計測結果をもとに利用者検出において画像処理を行うことの効果と2つのCPUを用いることの効果を示す。そしてそれぞれの手法について有効性を示す。

^{†1} 現在、公立はこだて未来大学
Presently with Future University in Hakodate

^{†2} 現在、熊本大学
Presently with Kumamoto University

表 1 知的バス停の利用モデル [4]

項目	時間 (分)
通過者がいた時間	117
利用者がいた時間	36
バス呼び出しボタンが押された時間	8
呼び出してからバスが到着するまでの時間	72
周囲に人がいなかった時間	438

2. 関連研究

2.1 オンデマンドバスシステムで利用する知的バス停の省電力化

新田ら [3] は北海道七飯町をモデルとしたオンデマンドバスシステムとそこで用いる知的バス停の設計を行っている。知的バス停にはノーマリオフが適用されており利用者がいないときにデバイスの電源を遮断することで省電力化を図っている。新田らが設計した知的バス停の構成は CPU にルネサスエレクトロニクス社製 RX63N, 人検出のための焦電センサ, 表示器として電子ペーパー, 通信のための無線モジュール, バス呼び出しボタンからなる。新田らは RX63N と焦電センサを搭載した評価ボード上に簡易的なノーマリオフ知的バス停アプリケーションを実装し, 消費電力を計測することで知的バス停システムの消費電力量を推定した。そして年間約 233,630J であり 1W の太陽光発電システムで数年間稼働させ続けられる水準であることを明らかにした。

2.2 知的バス停システムへの画像処理機能の追加

新田らの知的バス停は人の検出を焦電センサによって判断していたため, 利用者ではないただ前を通り過ぎる人にも反応してしまうことで, 余計な電力を消費しているという問題があった。山本ら [5] はその問題に対し, 知的バス停にカメラを追加し画像処理によって利用者とそうでない人を区別することで解決を図っている。山本らはルネサスエレクトロニクス社製 RX631 マイコンを搭載した評価ボードに CMOS カメラを取り付け, カメラの動作電流などから知的バス停にカメラを付けた場合の消費電力の推定を行った。その結果カメラを利用し利用者検出において画像処理を行うことによって, 知的バス停の消費電力量を削減できることが明らかになった。

3. 提案手法

3.1 オンデマンドバスシステム

本研究では新田ら [3] が設計したオンデマンドバスシステムをベースに用いる。本研究のオンデマンドバスシステムでは路線バスへの接続を目的とし, オンデマンドバスは公共施設から最寄りの路線バスのバス停までを運行する。最寄りの路線バスのバス停は函館方面へ向かう路線バスのバス停と七飯本町方面へ向かう路線バスのバス停が存在

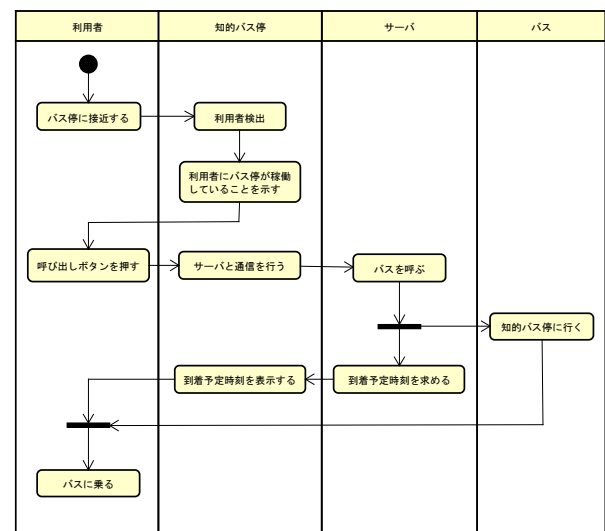


図 1 オンデマンドバスシステムのフロー

し, それぞれへオンデマンドバスを運行する。利用者は公共施設に設置された知的バス停のバス呼び出しボタンを押すことによってバスの呼び出しを行う。本研究でのオンデマンドバスシステムのフローを図 1 に示す。知的バス停は利用者が来たことを検出し, 待機状態から復帰する。利用者がバス呼び出しボタンを押すと知的バス停はサーバと通信しバスの呼び出しを行う。オンデマンドバスは次に最寄りのバス停へ路線バスが来る時刻までに最寄りのバス停へ到着するように出発する。そのため利用者がバスの呼び出しを行った際, 知的バス停は利用者にオンデマンドバスが出発する時刻を提示する。知的バス停はオンデマンドバスが出発する時刻になると利用者へそのことを通知し, 利用者はオンデマンドバスが出発する時刻にバスに乗り, 最寄りのバス停まで送迎される。

3.2 知的バス停システム

3.2.1 知的バス停の構成

本研究で使用する知的バス停の構成について図 2 に示す。知的バス停は性能の異なる 2 つの CPU を持つ。周期的に実行されるタスクや実行頻度の高いタスクを低消費電力な CPU で実行することで消費電力の大きい CPU の稼働時間が減り, システム全体の消費電力を削減することができる。またタスクを静的に振り分けることで命令セットに依存することなく使用する CPU の組み合わせを選択できる。焦電センサとカメラは利用者検出に用いる。利用者検出にカメラを用いるのはバス停の前を通り過ぎる人に反応してしまうことを防ぐために使用する。表示器は電子ペーパーとバックライトを持つ。電子ペーパーは不揮発性の表示器であり描画を行っていないときには電力を消費しない。またバックライトは利用者を検出した際に点灯し, 電子ペーパーの表示を見やすくするとともに, 利用者に知的バス停が稼働していることを示す。無線モジュールはバスを呼び

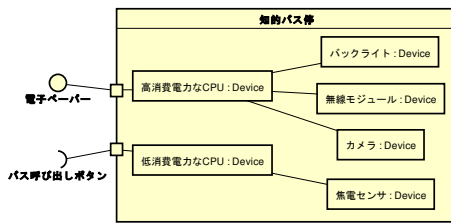


図 2 知的バス停の構成

出す際や現在時刻、バス運行時刻の取得に使用する。表示器とバス呼び出しボタンは函館方面へ向かう路線バスと七飯本町方面へ向かう路線バスへの接続のため2つずつ搭載されている。高消費電力なCPUは電子ペーパー、バックライト、カメラ、無線モジュールの制御を行い、低消費電力なCPUは焦電センサ、バス呼び出しボタンの押下検出を行う。

3.2.2 知的バス停の動作

本研究で使用する知的バス停の動作について図3に示す。知的バス停にはノーマリオフが適用されており、スリープ状態時には焦電センサを除く利用していないデバイスの電源を遮断する。焦電センサは安定時間が長いため、常時通電とする。知的バス停は利用者検出機能として焦電センサ、カメラの順で段階的にセンシングを行う。まずは低消費電力なCPUが焦電センサの値をチェックし近くに人がいるかを調べ、そこで人がいると判断した場合にカメラと高消費電力なCPUが起動し画像処理を行い、その人が近づいてきているかを判別し、近づいてきている人を利用者とする。このように焦電センサで人の接近を検知してからカメラを起動することで、画像処理を行う高消費電力なCPUとカメラの起動回数が減り、消費電力を削減することができる。画像処理については山本ら[5]の手法を用いる。焦電センサのチェックは0.15秒ごとに行う。利用者検出で利用者があると判断されたあと知的バス停はバス呼び出し待ち状態に遷移する。バス呼び出し待ち状態では表示器のバックライトを点灯させ、利用者にバス停が動作していることを知らせる。バックライトはスリープ状態になるまで点灯し続ける。利用者がバス呼び出しボタンを押した場合、知的バス停はバス到着待ち状態へ遷移する。バス到着待ち状態では知的バス停はサーバに現在の時刻とバスの到着予定時刻の問い合わせを行う。その後表示器の電子ペーパーに現在時刻とバス到着予定時刻の表示を行う。現在時刻の更新は1分ごとに現在時刻がバス到着予定時刻になるまで行う。現在時刻がバス到着予定時刻になったときバス到着報告状態へ遷移し、バスが到着したことを利用者に1分間通知する。その後知的バス停はバックライトを消灯し、再びスリープ状態へ遷移する。バス呼び出しボタンについては0.1秒ごとに低消費電力なCPUと同時に電源が入り、低消費電力なCPUがバス呼び出しボタンのチェックを行う。

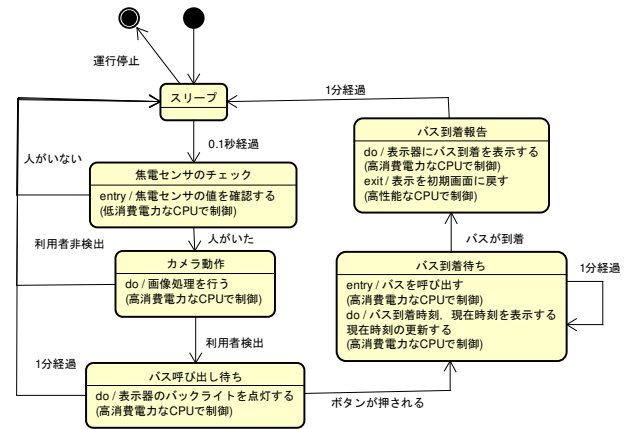


図 3 知的バス停の状態遷移

4. 実験

4.1 実験環境

知的バス停に搭載された焦電センサと電子ペーパーの仕様をそれぞれ表2、表3に示す。カメラは株式会社アットマークテクノ社製 Armadillo810 に付属するカメラモジュールを使用した。カメラモジュールの仕様を表4に示す。CPUは消費電力の大きいCPUとしてルネサスエレクトロニクス社製のRX63N、消費電力の小さいCPUとしてルネサスエレクトロニクス社製のRL78/G1Eを用いた。使用したRX63NとRL78/G1Eの動作周波数と消費電流を表4.1に示す。無線通信モジュールはZigBeeを想定しているが、消費電力の計測を行うにあたり通信状況の影響などにより計測するパターンが複雑になるため、無線通信モジュールは電力測定範囲外とした。

4.2 知的バス停の消費電力量の計測

計測を行うにあたり、提案手法の優位性を確かめるために4つの計測パターンを定義した。

- (1) **Nonff**: CPUにRX63NとRL78/G1Eを用い、利用者検出において焦電センサとカメラを使用する場合

表 2 焦電センサの仕様 [8]

項目	数値	単位
メーカー	Panasonic	-
型番	EKMB1201111	-
電源電圧	3.3	V
消費電流	2	μA
検出距離	5	m

表 3 電子ペーパーの仕様 [9]

項目	数値	単位
メーカー	Embedded Pico Systems	-
型番	TCM-P74-220.v1.1	-
表示サイズ	7.4	Inch
解像度	480 x 800	px
画面更新消費エネルギー	179	mJ
電源電圧	3.3	V

- (2) 従来システム：CPUにRX63Nのみを用い、利用者検出において焦電センサとカメラを使用する場合
- (3) Noff(焦電のみ)：CPUにRX63NとRL78/G1Eを用い、利用者検出を焦電センサのみで行う場合
- (4) 従来システム(焦電のみ)：CPUにRX63Nのみを用い、利用者検出を焦電センサのみで行う場合

従来システムと従来システム(焦電のみ)についてはRX63Nが焦電センサ、バス呼び出しボタンを含めたデバイスの操作を行い、スリープ状態時には電源を遮断するかわりにRX63Nの省電力機能であるディープソフトウェアスタンバイモードを用いる。それぞれのパターンにおいて、実地実験での結果(表1)にある、それぞれの時間について消費電力量を計測し、1日の消費電力量を算出した。結果を表6と図4に示す。図4より利用者検出においてカメラを使用することで通過者がいた時間における消費電力量を大きく削減することができたため、Noffの消費電力量はNoff(焦電のみ)と比べ約49%削減することができた。しかしながらNoffと従来システムを比べると、削減量は約1%ほどであった。次に主要なデバイスごとの消費電力量を表7に示す。表7より知的バス停の消費電力量におけるCPUの消費電力量はわずか1%であるため、Noffと従来システムで大きな差がうまれなかった。さらに知的バス停の消費電力量においてバックライトが大半を占めており、表7よりバックライトの消費電力量はNoffの場合、全体の92%を占めていることがわかった。最後にCPUのみの消費電力量のグラフを図5に示す。図5よりCPUのみの消費電力量で見るとNoffは従来システムと比べ、約53%の消費電力量を削減できたことがわかる。

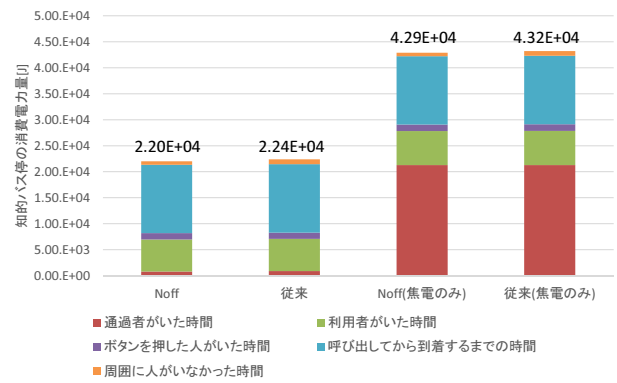


図4 各時間における消費電力量のグラフ

表7 各デバイスにおける消費電力量の測定結果

デバイス	Noff	従来	Noff(焦電のみ)	従来(焦電のみ)
バックライト	$2.02 \times 10^4 J$	$2.02 \times 10^4 J$	$4.18 \times 10^4 J$	$4.18 \times 10^4 J$
CPU	$3.34 \times 10^2 J$	$7.06 \times 10^2 J$	$2.28 \times 10^2 J$	$5.68 \times 10^2 J$
電子ペーパー	$8.93 \times 10 J$	$8.93 \times 10 J$	$8.89 \times 10 J$	$8.89 \times 10 J$
カメラ	$6.74 \times 10^2 J$	$6.74 \times 10^2 J$	$0.00 J$	$0.00 J$
焦電センサ	$5.56 \times 10^2 J$	$5.56 \times 10^2 J$	$5.52 \times 10^2 J$	$5.52 \times 10^2 J$
その他	$1.82 \times 10^2 J$	$1.82 \times 10^2 J$	$1.89 \times 10^2 J$	$2.00 \times 10^2 J$
全体	$2.20 \times 10^4 J$	$2.24 \times 10^4 J$	$4.29 \times 10^4 J$	$4.32 \times 10^4 J$

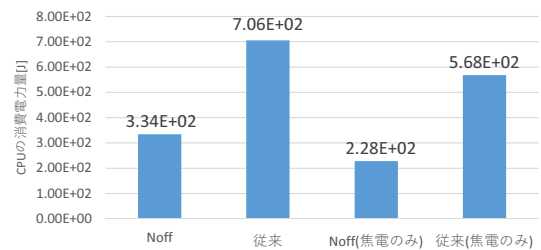


図5 CPUにおける消費電力量のグラフ

表4 カメラモジュールの仕様 [10]

項目	数値	単位
メーカー	アットマークテクノ	-
型番	OP-A810-CAM01-00	-
画素数	1/4 インチ CMOS カラーセンサ	-
画素数	640 x 480	px
レンズ	HPB1027-A1	-
電源電圧	3.3	V

表5 RX63NとRL78/G1Eの動作周波数と消費電流 [6][7]

CPU	型番	命令セット	動作周波数	消費電流
RX63N	R5F563NEDDFC	32bit	100MHz	40mA
RL78/G1E	R5F10FMEDFB	16bit	32MHz	4.6mA

表6 各時間における消費電力量の測定結果

時間	Noff	従来	Noff(焦電のみ)	従来(焦電のみ)
通過者がいた時間	$7.97 \times 10^2 J$	$8.81 \times 10^2 J$	$2.13 \times 10^4 J$	$2.13 \times 10^2 J$
利用者がいた時間	$6.17 \times 10^3 J$	$6.18 \times 10^3 J$	$6.54 \times 10^3 J$	$6.56 \times 10^3 J$
ボタンを押した人がいた時間	$1.21 \times 10^3 J$	$1.21 \times 10^3 J$	$1.28 \times 10^3 J$	$1.28 \times 10^3 J$
呼び出してから到着するまでの時間	$1.31 \times 10^4 J$	$1.32 \times 10^4 J$	$1.31 \times 10^4 J$	$1.32 \times 10^4 J$
周囲に人がいなかった時間	$6.73 \times 10^2 J$	$9.14 \times 10^2 J$	$6.67 \times 10^2 J$	$9.09 \times 10^2 J$
全体	$2.20 \times 10^4 J$	$2.24 \times 10^4 J$	$4.29 \times 10^4 J$	$4.32 \times 10^4 J$

5. 考察

5.1 利用者検出において画像処理を行うことの損益分岐

知的バス停は利用者検出で利用者がいると判断した場合、バス呼び出し待ち状態に遷移する。利用者検出において画像処理を行うことによって、焦電センサのみで利用者検出を行う場合に比べ、バス呼び出し待ち状態への遷移が減るため、知的バス停の消費電力量を削減することができた。しかしながらバス呼び出し待ち状態における動作で消費する電力量が、カメラを用いることによって増加した消費電力量より小さい場合、カメラを用いた場合の消費電力量が用いない場合を上回る。そこでバス呼び出し待ち状態における消費電力量に注目し、利用者検出で画像処理を行う場合の損益分岐を調べたところ図6のような結果となった。この結果より通過者と利用者の割合が同じ場合において、バス呼び出し待ち状態における消費電力量が $2.11 \times 10^2 J$ 以上、電力に換算すると $97.9mW$ 以上であれば、利用者検出で画像処理を行う手法は優位となる。また知的バス停の近くにきた人のうち利用者が多くなるほど、バス呼び出し待ち状態への遷移が増え、カメラを使用する分、カメラを

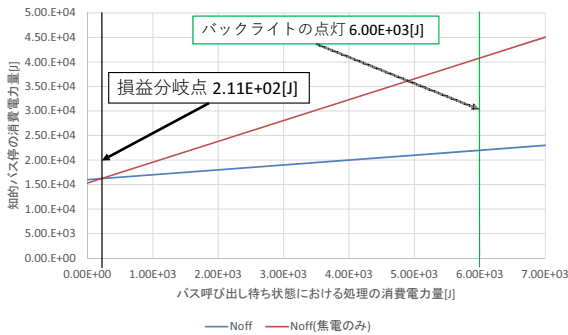


図 6 バス呼び出し待ち状態における消費電力量の損益分岐点

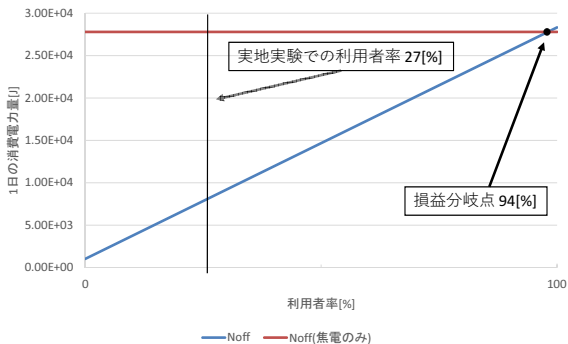


図 7 利用者率における画像処理を行うことの損益分岐点

使用しない場合に比べ消費電力量が増加してしまう。そこで利用者率に注目し、利用者検出で画像処理を行う場合の損益分岐を調べたところ図7のような結果となった。この結果から利用者率が94%以下であれば利用者検出で画像処理を行う手法が優位となる。

5.2 バックライトを使用しない場合について

5.2.1 バックライトを使用しない場合の動作

消費電力量の計測結果よりバックライトの消費電力量が全体の92%を占めていることがわかった。バックライトの役割としては電子ペーパーを見やすくすることと、利用者により知的バス停が稼働していることを示すことである。そこで十分に明るい環境下でバックライトを使用しない場合の動作について考える。知的バス停は利用者検出後、バックライトを点灯させる代わりに電子ペーパーの表示を更新する。更新したときに電子ペーパーには現在時刻とバス出発予定時刻を表示する。バス呼び出しボタンが押される前にバス出発予定時刻を表示することによって、利用者は表示された時刻を判断材料にしてバスの呼び出しを行うか判断することができるようになる。各時刻の表示にあたり、通信による各時刻の取得にかかる時間を考慮し、時刻を表示する前に「お待ちください」などのメッセージを表示したのちに時刻の表示を行う。そして1分ほどバス呼び出しボタンが押されるのを待ち、押されなかった場合は電子ペーパーの表示をもとの表示に戻しスリープ状態に移行する。以上の動作を図8に示す。

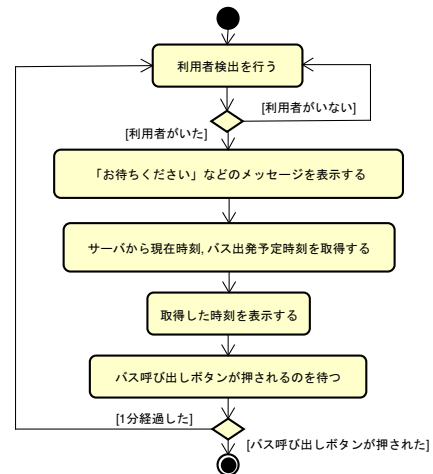


図 8 バス呼び出し待ち状態での動作

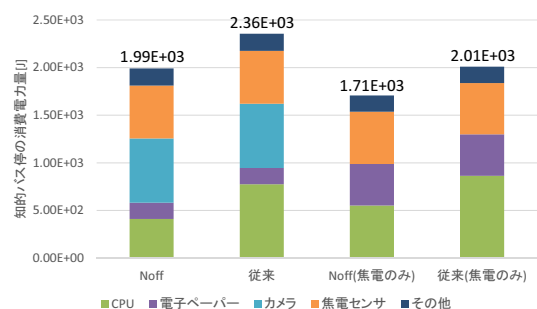


図 9 各デバイスにおける消費電力量

5.2.2 消費電力量の計測

バックライトを使用しない場合について実地実験で得られた知的バス停の利用モデルと照らし合わせて消費電力の計測を行った。各デバイスにおける結果を図9に示す。結果から従来システムに比べ **Noff** の消費電力量は小さいものの、**Noff(焦電のみ)** に比べ大きくなった。カメラによる画像処理を行うことによって CPU と電子ペーパーの消費電力量を削減することができるが、削減量に比べカメラが消費する電力量が大きいため、カメラを用いることによって消費電力量が増加してしまう結果となった。ここで本研究で使用したカメラモジュールに替えて、山本ら [5] が使用していたカメラを使用した場合について考える。山本らが使用したカメラの仕様を表8に示す。KBCR-M04VG が1日に消費する電力量を計算し、本研究で使用したカメラの消費電力量の結果に置き換えると図10のような結果となる。この結果から **Noff(焦電のみ)** に比べ **Noff** の消費電力量が小さくなった。以上のことからバックライトを用いず利用者へシステムが稼働していることを示す動作として時刻を表示する場合、開発した知的バス停のカメラが消費する電力量を削減する必要がある。

5.2.3 利用者検出で画像処理を行うことの損益分岐

カメラを交換した場合でのバス呼び出し待ち状態における消費電力量と利用者率に対する損益分岐を求めた。バス呼び出し待ち状態における消費電力量に関しては 68.5J 以

表 8 KBCR-M04VG の仕様 [11]

項目	数値	単位
メーカー	シキノハイテック	-
型番	KBCR-M04VG	-
撮像素子	1/4 インチ CMOS カラーセンサ	-
総画素数	640 x 480	px
最大消費電力	0.18	W
電源電圧	3.3	V

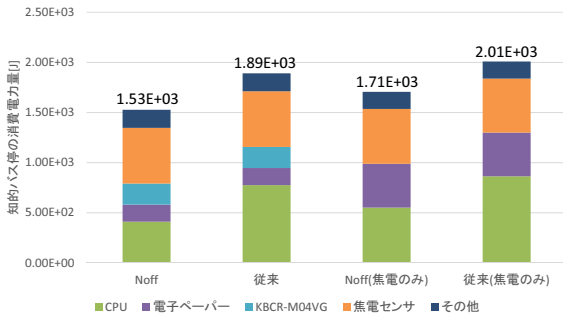


図 10 カメラを変更した場合における各デバイスの消費電力量

上, 31mW 以上であれば優位となり, 利用率に関しては 96%以下であれば, バックライトを用いずカメラを交換した場合について, 利用者検出で画像処理を行う手法が優位となる。

5.3 知的バス停の消費電力量の評価

知的バス停の消費電力量について, **Noff**における1日の消費電力量は 2.20×10^4 J であり, 従来システムから 400J, **Noff(焦電のみ)** から 2.09×10^4 J ほど削減できることがわかった。1年間稼働させる場合を考えると **Noff** と従来システムとの差は 1.36×10^5 J となり, これは **Noff** が7日間稼働する電力量に相当する。また **Noff** と **Noff(焦電のみ)** との差は 7.80×10^6 J となり, **Noff** が 362 日間稼働する電力量に相当する。太陽光発電で稼働させる場合を考えると, 日本の平均日照時間を 1,900 時間とした場合 2W ほどの太陽電池で1年間動作可能である。

次にバックライトを用いず, カメラを交換した場合の消費電力量について, **Noff**における1日の消費電力量は 1.53×10^3 J となり, 従来システムから 365J, **Noff(焦電のみ)** から 180J ほど削減できることがわかった。1年間稼働させる場合を考えると **Noff** と従来システムとの差は 1.33×10^5 J となり, **Noff** が 87 日間稼働する電力量に相当する。また **Noff** と **Noff(焦電のみ)** との差は 6.57×10^4 J となり, **Noff** が 43 日間稼働する電力量に相当する。太陽光発電で稼働させる場合を考えると, 0.1W ほどの太陽電池で動作可能である。

6. まとめ

本研究ではオンデマンドバスシステムで用いる知的バス停を開発した。実地実験で得た結果をもとに知的バス停の

消費電力量を計測し, 知的バス停において利用者検出で画像処理を行わない場合に比べて 49%の消費電力量を削減できることがわかった。また性能の異なる2つのCPUを用いることによってCPUの消費電力量を53%削減できることがわかった。また利用者検出で画像処理を行った場合に消費電力を削減できる条件を示した。さらにバックライトを使用しない場合についても考察を行い, カメラをより消費電力が小さいものに交換した場合において, 利用者検出で画像処理を行うことで消費電力を削減できる条件を示した。最後に知的バス停の消費電力量について考察を行い, 開発した知的バス停では2Wほどの太陽電池で, バックライトを使用せずカメラを交換した場合では0.1Wほどの太陽電池で1年間動作可能であることを示した。

参考文献

- [1] NTT docomo: 社会的課題の解決をめざす+dの挑戦, http://www.docomo.biz/html/plus_d_agriculture/, (参照 2017-01-11).
- [2] 情報通信研究機構, “もずく養殖へのWi-SUN無線センサネットワークの適用実証に成功,” <http://www.nict.go.jp/press/2015/12/17-1.html>, (参照 2017-01-11).
- [3] 新田 健人, 長崎 健, 戸田 真志, 平田 圭二, 松原 仁, “ノーマリオフ知的バス停実運用を想定した消費電力実装評価,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-EMB-36 No.22, Mar. 2015.
- [4] 阿部 稿作, 長崎 健, 戸田 真志, 平田 圭二, 松原 仁, “知的バス停におけるノーマリオフ技術適用評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115 No. 519, pp. 37-41, Mar. 2016.
- [5] Kento Yamamoto, Koichiro Enomoto, Takeshi Nagasaki, Masashi Toda, Keiji Hirata and Hitoshi Matsubara, “Power-saving Evaluation of the Demand Responsive Intelligent Bus Stop System by Image Processing,” FCV2016, the Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, pp. 383 - 386, Feb. 2016.
- [6] ルネサスエレクトロニクス株式会社, “RX63N グループ, RX631 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編,” Apr. 2014.
- [7] ルネサスエレクトロニクス株式会社, “RL78/G1E ユーザーズマニュアル ハードウェア編,” Sept. 2013.
- [8] Panasonic, “焦電型赤外線センサ PaPiRs WL シリーズ, Ver1.1,” Des. 2010.
- [9] Embedded Pico Systems. “Timing Controller Solutions for Pervasive Displays 4.41” and 7.4” Panels Developer’s Guide,” Aug. 09. 2013.
- [10] Armadillo, “Armadillo-810 カメラモジュールセット 01(B コネクタ用),” <http://armadillo.atmark-techno.com/armadillo-810/OP-A810-CAM01-00#spec>, (参照 2017-1-12).
- [11] 株式会社シキノハイテック, “製品紹介 デジタル YUV 出力 30 万画素カメラモジュール KBCR-M04VG,” <http://www.shikino.co.jp/products/product-kbcr-m04vg.html>, (参照 2017-1-19).