スマートフォンアプリを用いた省エネルギー効果と利用者の行動変容に関する研究

新盛　晃太郎

1. はじめに

地球温暖化対策計画において、日本は全体の CO_2 排出量を 2030 年度に 2013 年度比で 46%削減し、業務部門では 51%削減することを明記しており、業務部門の省エネ対策の強化が求められている。目標達成に向けて、オフィスビルなどにエネルギー情報を提供する BEMS やフィードバックの活用事例が注目を集めているが、いずれもビル全体を対象にしたものが多く、建物利用者それぞれに合わせたフィードバックを行っているものは少ない。本研究では、個人の省エネ行動を自己申告制で把握し、機械学習で予測したエネルギー消費量と実測したエネルギー消費量を比較し、その差を省エネ行動の効果として各個人にスマートフォンアプリ（以下、スマホアプリ）を通じてフィードバックする省エネ行動促進システムを ZEB 改修されたオフィスビルでインセンティブを設けて運用実験し、個人に注目したフィードバックが被験者の省エネ意識や行動へ与える影響を検証することを目的とする。

2. 機械学習を用いた電力消費量の推計

本研究では、被験者がオフィスビル内で行った省エネ行動による消費電力の削減効果の目安を個人単位でフィードバックするために、機械学習を用いて被験者が省エネ行動を行わなかった場合の消費電力量を予測し、1 日の電力消費量のベースラインとした。使用する機械学習モデルは Artificial Neural Network(以下、ANN)を採用した。ANN の要素を表 1 に示す。曜日・時刻および気象庁のホームページから取得した外気温度(℃)・外気湿度(%)・風速(m/s)・日照時間(min)の 6 要素を入力変数とし、空調と照明の電力消費量をそれぞれのモデルで別々に出力した。学習期間は 2020 年 4 月 8 日から 2021 年 7 月 27 日までの約 15 ヶ月、テスト期間は 2020 年 4 月 8 日から 2021 年 4 月 30 日までの 12 ヶ月とした。データ時間間隔は 10 分とし、学習期間が 55,296 データである。テスト時に一度に入力するデータ数である Batch-size はテストデータの約 10%である 5,000 個とした。機械学習の精度に関して室内の二酸化炭素濃度が取れず今回の入力データは該当のオフィスビル特有の数値を含まない地域一帯の普遍的な気象庁データのみとなり、学習期間も含め出勤者数や換気状況など傾向の乏しい要素も多く予測精度が高いとはいえない。しかし本研究では省エネ自体ではなく省エネにつながる省エネ行動を評価し、予測はある程度の目安を設けるためのものなのでこの機械学習モデルを使用した。

3. スマホアプリ概要

今回開発したスマホアプリには、各階ごとの実際の消費電力量と機械学習を用いて予測した消費電力量が閲覧できる画面や自身が行った省エネ行動を申告できる機能、申告した省エネ行動による消費電力削減量がわかるようなフィードバック機能やその削減量に応じたポイントが蓄積されていく機能を搭載し、「照明を消す」「階段で上る」「階段で下る」「コンセントを抜く（PC・モニター)」「空調の設定温度を下げる」の 5 つの省エネ行動を申告項目に設定した。

3.1. スマホアプリ画面

被験者が省エネ行動申告を完了するまでにメイン画面、省エネ行動申告画面、申告完了画面の 3 つの画面がある。なおメイン画面には表示するものが異なるメイン画面 A とメイン画面 B があり、それらを含めた 4 つのスマホアプリの表示画面を図 1 に示す。また開発したスマホアプリにはその他に TOP 画面、ギフト画面、入力画面があり計 7 つの画面が表示する。メイン画面 A では前日の 8 時から 20 時までの勤務階数の実際の

表 1　ANN の要素

Input Layer	Hidden Layer	Output Layer
Day of the Week	2 Layers	Air Conditioner Power Consumption or Lighting Power Consumption
Time & Minute	Active Function = Sigmoid	
Outside Air Temperature（気象庁HPより）	Dropout = 0.2	
Outside Air Humidity（気象庁HPより）	Loss Function = categorical crossentropy	
Wind Speed（気象庁HPより）	Optimization Function = Adam	
Daylight Hours（気象庁HPより）		

消費電力量と機械学習によって導出したベースラインである予測消費電力を重ねた折れ線グラフを表示した。なお、これらの値は前述の機械学習モデルでも触れたように照明系統と空調系統の合算値である。メイン画面Bでは前日の消費電力量の実測値と予測値の差で求める各階の電力削減量とその中で利用者個人が省エネ行動を行ったことで削減された消費電力量を照明・コンセント、空調、階段の3つの部門に分けて表示した。照明・コンセント部門は照明系統の、空調部門は空調系統のデータを参考に個人が行った省エネ行動による削減量を算出した。この値は照明・コンセント部門では最低値150Wh・最高値300Wh、空調部門では最低値200Wh・最高値400Whになるように制限を設けた。これは機械学習の予測精度が高くないことを考慮したためである。また階段部門に関しては実測データが取れていないため1回の階段利用につき50Whの固定値を設定した。申告画面では、昼（8時～12時）、夕方（12時～17時）、夜（17時～20時）のように1日を3つの時間帯に区分し、その時間帯に行った前述の5つの省エネ行動の回数を申告する画面を表示した。省エネ行動申告完了画面では利用者の周りで省エネ行動を行っている人を見たかどうかの利用者自身の「気づき」を申告できる画面を追加して表示した。ギフト画面では任意の期間におけるメイン画面Bで表示される各個人の削減量の合計値を10Wh＝1ポイントで換算し表示した。このポイントは実験で実施するインセンティブの付与における付与条件として用いた。

3.2. データ共有システム概要

省エネ行動促進システムで扱うデータのやり取りの概要を図2に示す。今回、機械学習で用いた入力データである外気温度(℃)・外気湿度(%)・風速(m/s)・日照時間(min)は気象庁のホームページから取得した。また、オフィスビル内のデータはGoogle Driveを介して取得し、スマホアプリのデータはFirebaseを用いて取得した。スマホアプリに表示する消費電力の実測値や機械学習で出された消費電力のベースライン、個人へのフィードバックとなる省エネ行動がもたらした削減量はDropboxを介して共有した。

4. 実験概要

開発したスマホアプリと機械学習モデルを使用して省エネ効果の検証を行った。実験の概要を表2に示す。被験者は大阪府吹田市内にあるダイキン工業株式会社の江坂ビルの2階、4階、5階に勤務するそれぞれ38名、14名、40名の計92名である。実験は2021年11月25日から2022年1月14日まで行い、その後被験者にアンケート調査を行った。被験者個人の省エ

a）メイン画面A　b）メイン画面B　c）省エネ行動申告画面　d）省エネ行動申告完了画面

図 1　スマホアプリ表示画面

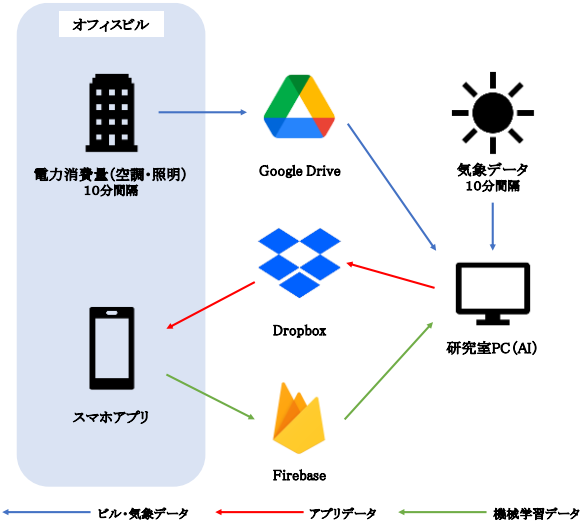

図 2　システム概要図

ネ行動の申告回数と各階の空調と照明における消費電力量を測定した。また本実験では省エネ行動申告の外的動機付けとしてインセンティブの付与も行った。

4.1. 実験計画

本実験では、個人に対するフィードバックによる省エネ行動促進効果を検証するため、対照実験を行った。実験計画を表 3 に示す。2021 年 12 月 14 日までを実験期間①、それ以降を実験期間②とした。実験開始直後は 2 階と 4 階に勤務する被験者には図 1 に示したメイン画面 A のみをスマホアプリに表示した。また、5 階に勤務する被験者にはメイン画面 A に加えて、個人に対するフィードバック画面であるメイン画面 B を追加し任意で切り替え可能なスマホアプリを配布した。

4.2. インセンティブ

図 2 に示したギフト画面に表示されるポイントに応じて被験者は飲料や菓子類などの商品を受け取り可能であった。各実験期間終盤に商品との交換期間を設けており、本実験ではポイントが多いほど商品の選択肢が増えその中から 1 つ商品を選ぶ形式とした。また交換方法に関しては窓口を用意しており被験者は交換に際して窓口まで出向く必要があった。

4.3. アンケート調査

被験者の省エネ行動と申告に対する行動動機や意識変化、スマホアプリについて改善点や要望、利用頻度を把握するために、回答期間を 2022 年 1 月 14 日から同年 1 月 26 日までとして最大 15 問のアンケート調査を Googl Forms を用いて行った。

5. 実験結果

スマホアプリは実験開始前日に被験者 92 名に対いて配布を行い、実験終了時にはそのうち 75 名がスマホアプリを実際にインストールし実験に参加した。インストール状況の詳細については表 4 に示す。スマホアプリ配布後は 2021 年 12 月 3 日までの 10 日間、2 日に 1 度の頻度でインストールが可能であることを知らせるメールを送りインストールを促した。その後の 2 週間で計 4 回同様のメールを送ったが同年 12 月 9 日を除き大きな変化は見られず、これ以上呼びかけでの効果は期待できないと判断した。なお 12 月 9 日については実験期間①の商品交換期間であったことが影響していると考えられる。アンケートに関しては 32 名の回答が得られた。

5.1. フロアごとの申告状況

既にインストールを済ませている人のうち、実際にスマホアプリを通して省エネ行動の申告を行った人の割合をその日の申告率とした。アンケートの問 4 の「各検証期間において平均在宅勤務頻度を教えてください」という質問に対して週 4 日もしくは週 5 日と回答した方はデータから除外した。実験期間ごとの各階の平均在宅勤務頻度は表 5 に示す。以上を踏まえて実験期間①の申告率を図 3 に、実験期間②の申告率を図 4 に示す。図 3 を見ると 2 階・4 階と比較して 5 階の申告率は低く、個人へのフィードバック画面の有無によるプラスの効果は見られなかった。図 1 のメイン画面 A・B それぞれの閲覧頻度を尋ねたアンケートの問 5 の回答結果をそれぞれ図 5、図 6 に示す。メイン画面 A の閲覧頻度に比べてメイン画面 B はかなり低く、そもそ

表 2　実験概要

実験対象	大阪府吹田市にある ダイキン工業株式会社の江坂ビル利用者　92名 （2階:38名 4階:14名 5階:40名）
実験期間	2021年11月25日～ 2022年1月14日
測定項目	省エネ行動申告回数 各階消費電力量（空調・照明）

表 3　実験計画

	スマホアプリ表示画面	
勤務階	実験期間① 2021年11月25日～同年12月14日	実験期間② 2021年12月15日～ 2022年1月14日
2階(38名)	メイン画面A	メイン画面A + メイン画面B
4階(14名)		
5階(40名)	メイン画面A+メイン画面B	

表 4　アプリインストール状況

	11月24日	11月25日	11月26日	11月29日	11月30日	12月1日
インストール済み(92人中)	29人	48人	49人	54人	57人	61人
百分率(%)	32%	52%	53%	59%	62%	66%
	12月2日	12月3日	12月6日	12月9日	12月14日	1月7日
インストール済み(92人中)	62人	63人	64人	72人	73人	75人
百分率(%)	67%	68%	70%	78%	79%	82%

表 5　平均在宅勤務頻度

	実験期間①				
勤務階	1日/週	2日/週	3日/週	4日/週	5日/週
2階	11人	ー	2人	2人	1人
4階	6人	ー	1人	4人	ー
5階	10人	1人	1人	3人	2人

	実験期間②				
勤務階	1日/週	2日/週	3日/週	4日/週	5日/週
2階	10人	1人	1人	3人	1人
4階	6人	1人	ー	4人	ー
5階	10人	1人	1人	3人	2人

も見ていないという人も多数であった。そのため被験者に対してフィードバックが十分に行き届いていなかった。また、2 階と 4 階の被験者には実験期間②から個人へのフィードバックであるメイン画面 B に切り替え可能にして新規情報を追加したが図 3、図 4 を見ても 2 階・4 階の申告率の変移の傾向は 5 階と大きく変わらず参加意欲の増進にはつながらなかった。要因の 1 つとしてはスマホアプリの仕様でフィードバック画面を表示するのに被験者側が切り替え操作を行う必要があったことが考えられる。

5.2. 申告項目の見直し

図 7 は被験者が期間中に行った申告の回数と行われた省エネ行動の回数の散布図である。ただし 1 度でも申告を行った人のデータのみ扱う。この 2 つにはわずかに正の相関にあり、これにより省エネ行動を行っていないときに各項目について 0 回であったと申告する人は少ないことが分かる。図 8 は個人へのフィードバックであるメイン画面 B が見れることによる省エネ行動への意識調査の回答別に省エネ行動回数を分布させたものである。「すこし意識した」と答えた人たちが意識をしているが行動につながらなかったのは、設定した申告項目と方法に原因があると考える。図 7 から申告する行動を行えば申告を行う可能性は高いので、今回は項目を見直す必要がある。申告の時間は回数の記録だけでなく日常を振り返り、省エネを意識する機会をつくる意味合いも強いので申告項目も省エネ行動に限らず既にある習慣やオフィス内での日課などを織り交ぜれば申告回数の向上につながるかもしれない。

6. おわりに

本研究では残念ながら個人に対するフィードバックの省エネ行動促進効果への優位性を評価するには表示方法の問題により母数が足りなかった。しかしアンケートの自由記入欄でアプリへの要望や改善点として個人へのフィードバックについての意見やアドバイスが多く得られたことから少なからず利用者の興味や意識が見られた。また本実験は現在も継続中であり 5 階にのみカタリスト（行動誘発者）を配置し対照実験を行っているのでそちらの分析も行う。今後はさらなる省エネに向けより良いフィードバックのため、スマホアプリ UI や申告項目の検討をしていく。

【謝辞】本研究においてダイキン工業株式会社の関係者の皆様に多大なご協力をいただきました。深く感謝いたします。

【参考文献】

1) 環境省：地球温暖化対策計画(令和 3 年 10 月 22 日閣議決定) (http://www.env.go.jp/earth/211022/mat01.pdf) , 2022 年 1 月参照

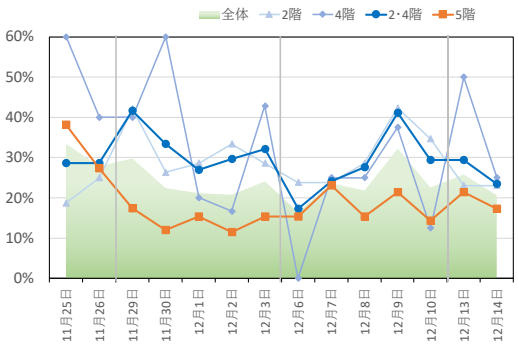

図 3 実験期間①における申告率

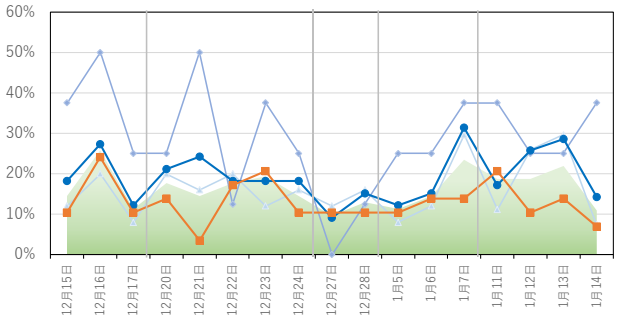

図 4 実験期間②における申告率

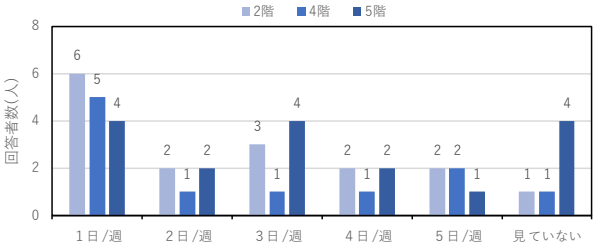

図 5 メイン画面 A の閲覧頻度

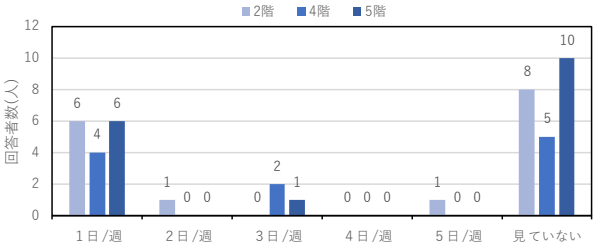

図 6 メイン画面 B の閲覧頻度

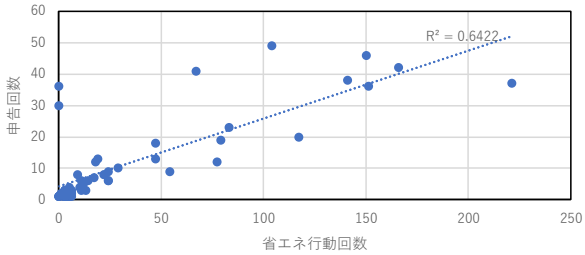

図 7 申告回数と省エネ行動回数

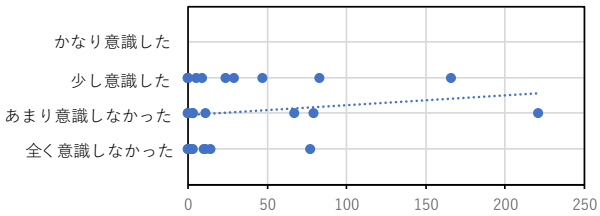

図 8 メイン画面 B による省エネ意識と行動