

D-ZEV を利用した環境防災情報伝達システムの構築

情報伝達システム 環境情報 災害情報
 防災拠点 デジタルサイネージ 屋外温熱環境

中島 裕輔 * 水野 修 **
 野呂 康宏 *** 横山 計三 *
 富樫 英介 * 柳 宇 *

1. はじめに

2018 年度のテーマ 3 としては、D-ZEV（自立移動式災害対応支援ユニット）の各構成要素の開発を進め、西新宿エリアの公開空地にてデモンストレーション実験を実施し、各種ニーズ調査と開発ユニットの有用性の検証を行った。具体的には、仮設救護ユニットの熱的性能調査と負荷削減手法の検討（富樫）、同ユニットの自立空調システム開発（横山・柳）、自立電源システム開発（野呂）、D-ZEV 及び D-ZEV mini を利用した環境防災情報伝達システム開発（中島・水野）である（Fig.1）。

本稿では、D-ZEV を利用した環境防災情報伝達システムの構築と、平常時・非常時両方の活用を想定したデモンストレーション実験の内容と結果を中心に報告する。

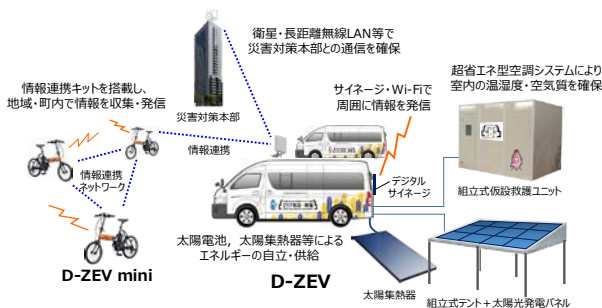


Fig.1 D-ZEV システム構成図

2.2 非常時の情報システム構築

非常時、災害対策本部を中心とした現状の情報システムを Fig.3、この現状のシステムに D-ZEV システムを加えた今回提案する「環境防災情報伝達システム」のイメージを Fig.4 に示す。

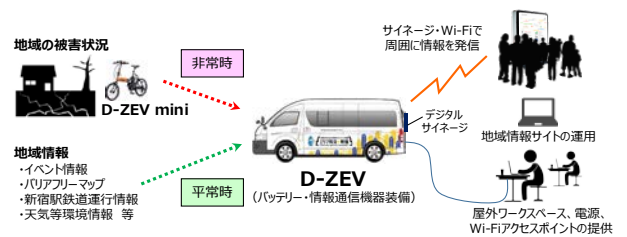


Fig.2 D-ZEV による情報収集発信イメージ

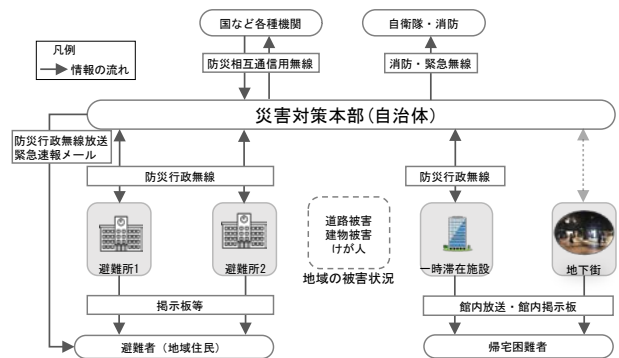


Fig.3 現状の情報システムイメージ

2. 環境防災情報伝達システムの構築

2.1 防災拠点での情報収集・発信システム

災害時、大規模駅周辺エリアの避難所、一時滞在施設などの地域防災拠点では、情報収集・発信、地元住民や帰宅困難者の受け入れ、救急救護などが重要な課題となる。そこで、災害時にこれらの地域防災拠点に駆け付け、情報通信、最低限のエネルギー供給、救急救護のサポートを行う D-ZEV による情報伝達システムの構築を行う。非常時・平常時の D-ZEV による情報収集発信イメージを Fig.2 に示す。

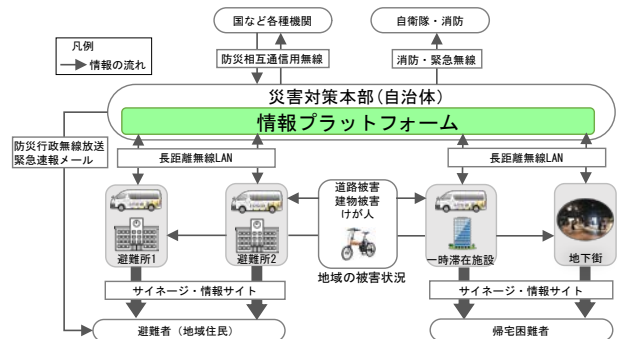


Fig.4 環境防災情報伝達システムイメージ

* : 工学院大学建築学部, ** : 工学院大学情報学部, *** : 工学院大学工学部

現状のシステムでは、災害対策本部と各避難施設（避難所及び一時滞在施設）が原則防災行政無線のみでそれぞれで情報伝達を行っている。そのため情報収集に時間がかかるだけでなく、情報が集約されているのは災害対策本部だけであり、避難者や帰宅困難者に対する迅速かつ正確な情報提供が不十分である。また地域の被害等の情報についても不足している状況である。そこで、災害対策本部と各避難所や一時滞在施設周辺、地下街など帰宅困難者の流入・滞在が想定される施設をネットワーク回線で結び、情報プラットフォームを構築し、従来防災行政無線や有線の電話などで行っていた情報伝達をネットワーク共有で行う。この通信は停電時にも備え、災害対策本部と D-ZEV 等のアンテナで長距離無線 LAN を介して直接やり取りを行える独立したネットワークを構築する。これにより、情報を迅速また同時に多数の避難施設が受け取ることができるようになる。また各避難施設は D-ZEV mini 用いて地域の被害情報を収集し、ネットワーク共有で災害対策本部に伝えることが可能となる。地域の被害情報は災害対策本部が集約することにより、避難経路の提示や緊急車両等の誘導に用いることが可能となる。避難者や帰宅困難者への情報発信については、各避難施設にある D-ZEV のデジタルサイネージに加えて、個人のスマートフォンやパソコンにも災害情報ページから発信を行う仕組みを構築する。サイネージ、災害情報ページの発信項目の選定、更新については災害対策本部が行う。

2.3 平常時の活用

平常時のシステム管理は、地域のエリアマネジメント組織が行うことを想定する。平常時の利用方法としては、イベント等の拠点としてキッチンカーとしての利用や電源供給スポットなどが考えられる。その平常時利用の中で情報発信を行うことにより D-ZEV 及び情報発信拠点としての認知度が上がり、非常時にも有効な活用が見込まれる。情報発信コンテンツとしては、駅周辺のバリアフリーマップや ATM・トイレなどの情報をまとめたマップなど、既存の情報サイトにはない、地域に限定した情報コンテンツを制作すれば、有用性は高いと考えられる。

3. 提案システムのデモンストレーション調査

3.1 調査概要

2018 年 11 月 13 日～21 日の新宿防災 Week にて、

環境防災情報伝達システムに関するデモンストレーション調査を行った。工学院大学新宿キャンパス南側と野村ビルの公開空地にて行ったデモンストレーションを Fig.5 に示す。デモンストレーションでは D-ZEV の情報システムについて D-ZEV のデジタルサイネージや災害情報ページなどを用いてシステムの説明を行い、アンケート調査を実施した。デジタルサイネージ・災害情報ページの情報画面を Fig.6 に示す。アンケートの有効回答数は 84 部であった。情報コンテンツ内容に関しては非常時・平常時共に必要度を 5 段階評価で行った。

また合わせて、平常時利用に特化した屋外ワークスペースとしてのアンケート調査も実施した。D-ZEV の周囲にテーブルとイスを置き、一部の席には D-ZEV バッテリーから給電する電源コンセントを設置し、さらには D-ZEV 内の機材を活用したフリー Wi-Fi サービス、コーヒー等の飲み物提供もを行い、D-ZEV を活用した屋外ワークスペースとしての利用可能性調査を実施した。



Fig.5 デモンストレーション風景



a. 一時滞在施設情報



b. バリアフリーマップ

Fig.6 システム画面例

3.2 D-ZEV システムに関するアンケート調査結果

アンケート回答者は、学生が約 4 割であったため年齢別では 20 代の割合が高いが、その他の年齢においては割合は同程度であった。来街頻度別でも毎日通う人とそうでない人が半々くらいであった。

Fig.7 に来街頻度別の非常時コンテンツ必要度を平均し点数化したものを、Fig.8 に職業別の平常時コンテンツ必要度の点数を示す。非常時コンテンツに関しては全体的に情報の必要度が高い。来街頻度別でみると「月 1 以下」の電源スポットニーズが高い。理由として情報ツールとしてスマホへの依存度が高いため、電源切れを恐れていることが原因と考えられる。平常時コンテンツでは必要度の高い情報と低い情報が顕著に見られた。職業別では「会社員他」に比べ「学生」のニーズが低い結果となった。

全体のシステム評価では、「有効である」「やや有効である」が 9 割以上であった（Fig.9）。またフリーコメントでは、情報集約したシステムの評価やサインージの見やすさでは評価が得られた。一方、災害情報ページやコンテンツ内容については、見やすさ等に関して課題も挙げられた。

3.3 屋外ワークに関するアンケート調査結果

今回の屋外ワークスペース（WS）の設置により、実際に利用した 91 人の回答が得られた。回答者の年齢は、20 代から 60 代まで大きな偏り無く得られた。西新宿を訪れる頻度は約半数が週 5 日以上で、週 1 日以上での割合は約 7 割であった。しかし、約 7 割が休憩目的で利用しているのが現状で、作業が目的の空地利用は 1 割程度しかいなかった。今回の屋外ワークスペースで良かった点の回答を Fig.10 に示す。テーブル・イスが最も評価が高く、次にカフェ機能となった。

公開空地に欲しい設備についての 5 段階評価の平均値を Fig.11 に示す。最もニーズが高かったのは植栽や日よけ、風よけといった環境面の設備となった。また、今回の屋外ワークスペースに対して、さらにほしい設備についての回答を Fig.12 に示す。最も高かった回答は、天気や気温などの温熱環境の情報発信であった。

以上より、公開空地のさらなる利用促進にはテーブル・イスなど設備も重要だが、植栽・日よけや温熱環境の情報発信など快適な空間づくり、より快適に過ごせる場所の管理、快適性の情報発信が求められていると推測できる。

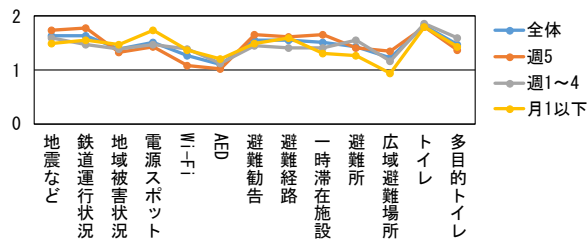


Fig.7 非常時コンテンツ評価（来街頻度別）

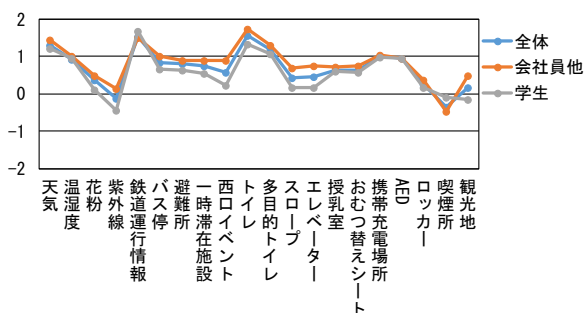


Fig.8 平常時コンテンツ評価（職業別）

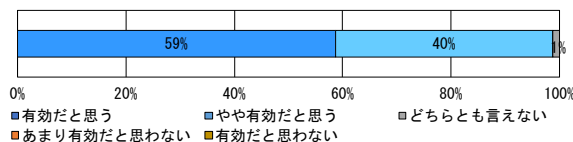


Fig.9 システムの総合評価

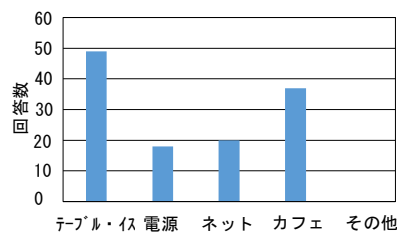


Fig.10 屋外ワークスペースの良かった点

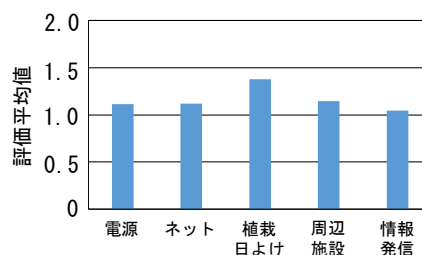


Fig.11 公開空地に欲しい設備

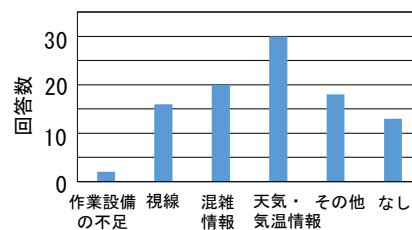


Fig.12 他に欲しい設備

4 西新宿エリアの温熱環境シミュレーション

4.1 シミュレーション概要

屋外ワークスペース向けの環境改善策の 1 つとして日よけ設備を配置した場合の公開空地の温熱環境の改善効果を把握するため、熱環境シミュレーションを行った。対象エリアは新宿野村ビルとその周辺とし、対象日は気象庁データで最高気温が 37.4℃を記録した 7/23、最高気温が 27.5℃と比較的涼しかった 8/19、これら 2 日の中間的な日で最高気温 32.8℃の 8/21 を選定した。対象日の天気はいずれも晴れである。今回配置した日よけは一般的なテントを想定し、性能と配置を Table.1、Fig.13 に示す。シミュレーションでは、新宿野村ビル公開空地内の地点 1、地点 2 の 2 か所の SET* を算出した。シミュレーションソフトは THERMO Render 5Pro を使用した。

4.2 シミュレーション結果

7/23 の 13 時の日よけ設備配置前後の表面温度分布を Fig.14 に示す。また 3 日間の 9 時から 17 時までの外気温と地点 1・2 の日よけ設備配置前後の SET* の値を Fig.15 に示す。最も暑い 7/23 の日よけ配置前の SET* の最高値は 37℃なのに対し、配置後の最高値は 32.8℃と 4.2℃下がっていることが分かる。同様に 8/19 は 4.1℃、8/21 は 3.5℃下がる結果となった。

SET*30℃以下で屋外作業可能と仮定した場合、現状では外気温が約 31℃で SET* は 30℃を超えるが、日よけがあれば外気温が約 33℃を超えないと SET* は 30℃を超えないことが分かった。2018 年の 7 月から 8 月の晴れの時間数（日照時間が 0.5 時間以上）でみると、現状では屋外作業が可能な日は、対象となる 334 時間中 55 時間であったが、日よけ設備配置後はこれが 266 時間と約 5 倍に増加する。

以上より、日よけ設備を配置することは屋外作業が可能となる日が大幅に増加し、公開空地活用の利用促進、及びエリア環境の改善において有効な手段の 1 つと言え、このワークに適する環境かどうかの判断情報を D-ZEV の環境防災情報提供システムから発信すれば、このシステムは平常時の公開空地の活性化にも寄与する仕組みとなることが期待される。

5. おわりに

D-ZEV のデモンストレーション実験を通じて、構築した環境防災情報システムについて、非常時にはシステムの有用性とニーズの高いコンテンツが把握

Table.1 日よけ設備の性能

日射反射率	0.8	熱伝導率(W/m3*K)	0.17
長波長反射率	0.95	容積比熱(J/m3*K)	1,023,000
日射透過率	0.1	厚さ(mm)	1

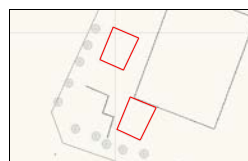
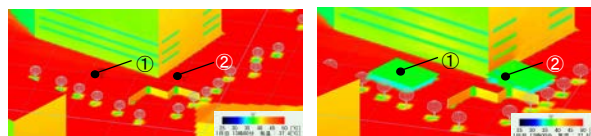


Fig.13 日よけ設備配置図



＜日よけ配置前＞ ＜日よけ配置後＞

Fig.14 表面温度シミュレーション結果（7/23）

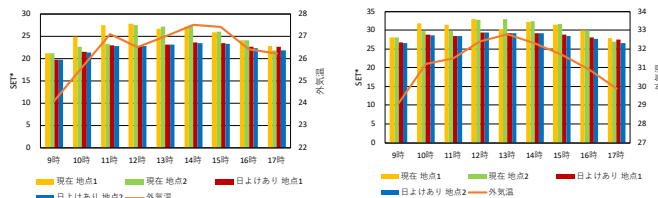
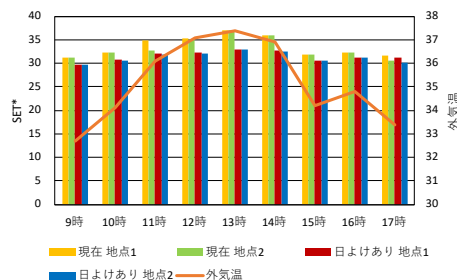


Fig.15 日よけ有無による SET* の時間変化比較

(上：7/23，左下：8/19，右下：8/21)

でき、平常時には屋外ワークスペースをサポートして公開空地等の環境改善や賑わい創出にも役立つことが確認された。今後はこの D-ZEV ユニットのハード面、ソフト面のさらなる充実を図り、実装に向けた検証を重ねていく計画である。

謝辞

本稿における実験や調査は、2018 年度卒業生の山田誠君、吉野阿覧君を中心に、多数の学生の協力を得て行ったものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会、新版・快適な温熱環境のメカニズム、平成 18 年 3 月

自立移動式災害対策支援ユニットにおける情報提供方式の開発

キーワード アドホックネットワーク，デジタルサイネージ，
Delay Tolerant Networking，情報提供，

氏名* 水野 修

1. はじめに

本事業は巨大都市・中心市街地(新宿区等)とその周辺地域を対象として，震災・水害等による複合災害に強く，速やかな機能回復を可能とする「逃げる必要のない都市」の実現を目的としている。そのうち，テーマ3では，地域防災拠点であるエリアの現地本部や避難所等において，災害時に情報通信面，必要最小限のエネルギー供給面，救急救護面のサポートを行う，自立移動式ゼロエネルギーユニット(D-ZEV: Disaster-robust Zero Energy Vehicle)を開発する¹⁾。

本報告では，D-ZEVに搭載する通信システムを活用した情報提供方式および，より小回りの利くD-ZEV-miniの情報伝送方式の基本検討について述べる。

2. D-ZEVの構成

D-ZEVはトヨタハイエースをベースとした2台の車両(“コーガ君号”と“クイーンちゃん号”)から構成されており，コーガ君号には主にバッテリーと太陽光発電のためのソーラパネル，テントが搭載されており，関連機器や簡易救護施設への電源供給を行う。クイーンちゃん号には簡易救護施設を組み立てるための資材と，通信機器を搭載できる。またD-ZEVminiは折り畳み自転車であり，それぞれの車両に分散して3台搭載できる。コーガ君号の天井部分にはソーラパネルが，クイーンちゃん号の後方には52インチのデジタルサイネージが2個取り付けできる。図1にD-ZEVを用いたネットワークを示す。ここでは，大別して，D-ZEVのネットワークと，D-ZEVminiのネットワークから構成される。

(1)D-ZEVのネットワーク

- D-ZEV～災害対策本部
長距離無線LANを用いて，地域の災害情報やD-ZEVが収集した避難場所の情報を伝送する。
- D-ZEV～一般ユーザのスマートフォンやPC

WiFiを用いて，詳細な災害情報を伝送する。

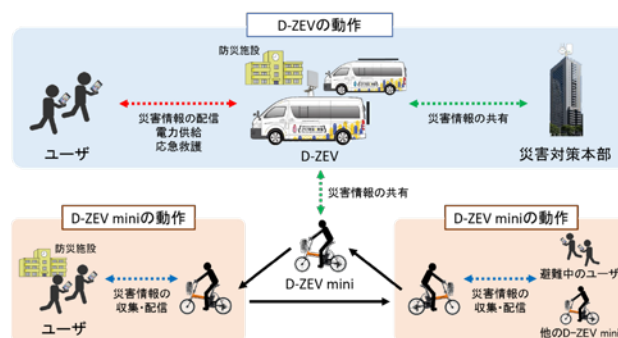


図1 D-ZEVのネットワーク

• D-ZEV～D-ZEVmini

WiFiを用いて，D-ZEVminiが収集配信する災害情報

なお，D-ZEVのデジタルサイネージのうち1面には，災害対策本部から収集した，地域の情報(避難場所の位置・収容可否・設備の利用可否，鉄道の運行状況，一時救護施設の場所・状況など)を更新型サイネージコンテンツで表示する。もう1面には，テレビ番組を受信し，テレビ局が報道する広域の被災情報を放映する。

(2)D-ZEVminiのネットワーク

- D-ZEVmini～D-ZEVmini
WiFiを用いてD-ZEVmini同士で情報交換する。
- D-ZEVmini～一般ユーザのスマートフォンやPC
WiFiを用いて，詳細な災害情報を収集したり配信する。

図2にD-ZEVminiの通信システム構成，図3にその写真を示す。図中で，無線アクセスポイントは屋外で使用できるIEEE 802.11n対応製品を用いている。この製品は電源をLANケーブルで供給する仕様であるため，LANケーブルに電源を重畳させるためにPoEインジェクタを用いている。ポータブル電源は自転車で使用できるように500mlのペットボトル大のサイズの製品を用いたが，この製品でも連続3時

* : 工学院大学情報学部情報通信工学科

間の使用が可能である。

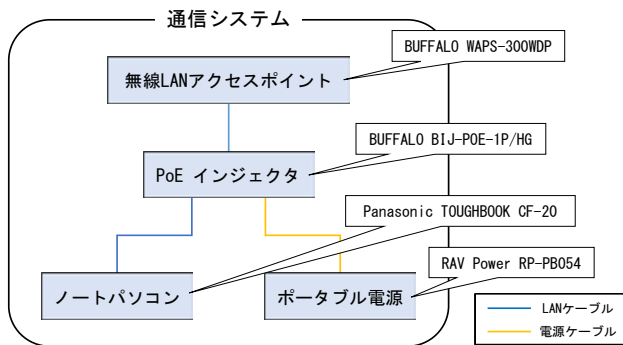


図 2 D-ZEVmini の通信システム



図 3 D-ZEVmini の通信システム（写真）

3. D-ZEV を用いた情報提供方式²⁾

3.1 D-ZEV を介して提供する情報

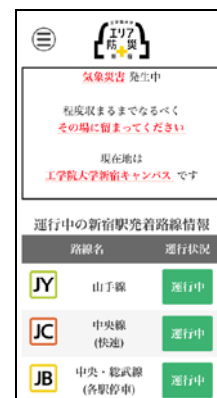
D-ZEV を介した情報提供では、地域住民および来街者問わず対象となるようなコンテンツを提供することが重要である。そのため、「発生災害情報」「新宿駅発着路線情報」「医療救護所情報」「一時滞在施設情報」「避難所」「ハザードマップ」を提供する。これらは、施設名、路線名などの情報を災害対策本部に設置されるデータベースに格納し、Web を通じて提供する。コンテンツはユーザ端末の OS や機器依存を少なくするため、アプリでの提供ではなく、ブラウザで表示できるように設計されている。これらの情報を確認した被災者は、帰宅や避難所などへの避難を行うことができる。また、土地勘の無い来街者には、D-ZEV の位置情報を表示し、現在地などの提供も合わせて行う。

図 4 に災害情報提供システムの表示例を示す。図 4 中(a)(b)は、個人端末向け災害情報提供機能の PC

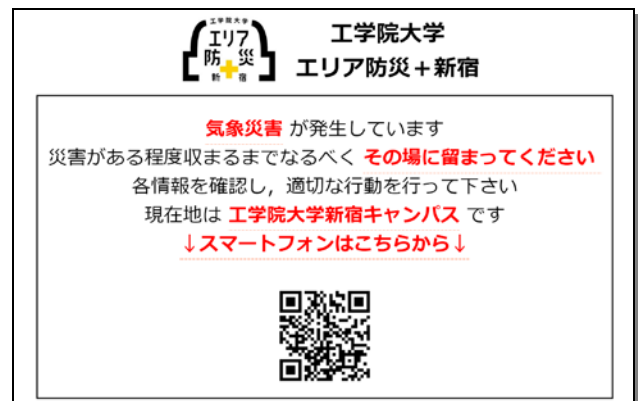
およびスマートフォンページの TOP 画面、(c)は、更新型デジタルサイネージの TOP 画面である。(a)(b)は、互いに同じものを表示し、ユーザインタフェース等を変更した。(c)では、情報量が多くスクロールが発生する場合には、自動でスクロールする機能を実装した。また、すべてのデジタルサイネージの画面に、スマートフォン用ページへ遷移する QR コードを表示している。



(a) PC 向けの画面



(b) スマートフォン向けの画面



(c) 更新型デジタルサイネージ向けの画面

図 4 D-ZEV のコンテンツ表示

3.2 D-ZEV を用いた情報提供評価実験

災害情報提供システムを実装し、システムの使用者として想定される一般ユーザにアンケートを実施

し、災害情報提供システムが災害時における行動判断の支援に有効であるかを確認した。

実験日時：2018 年 11 月 13~21 日

実験場所：工学院大南側エントランス，新宿野村ビル前広場

実験人数：合計 84 人(学生 34 人，社会人 50 人)

被験者には、2 つの機能を実際に操作および目視してもらいそれぞれの有効性について評価を依頼した。図 5 に、ここで提供される情報が役に立つと思うかについて、5 段階で評価してもらったアンケート結果を示す。個人端末向けの情報、デジタルサイネージでの情報のどちらの機能とも、約 5 割以上のユーザが、行動判断の支援に有効と回答した。また、自由記述による意見には

- ・更新型デジタルサイネージ機能の画面遷移間隔がページにより異なったため、情報を取得できない
- ・Menu の表示方法が分からず、TOP ページ以外のページに遷移できない
- ・鉄道路線の一部運行停止情報も掲載してほしいなどがあった。これらについては
- ・次の表示まで何秒かなどの表示を追加
- ・Menu ボタンの表示方式を再検討
- ・「一部運行停止」状態を作成し、運行停止区間を表示

で対応することとした。

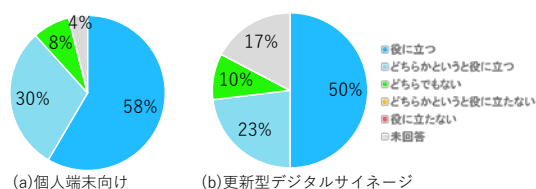


図 5 D-ZEV のコンテンツ表示

4. D-ZEVmini を用いた情報伝送方式³⁾

4.1 D-ZEVmini の情報伝送方式

D-ZEV mini の通信システムの要件を以下に示す。

要件 1: 不安定な通信環境で動作が可能であること。

要件 2: 防災拠点で多くのユーザと同時に通信するため、広い通信範囲、多くの接続台数、高スループットを実現すること。

要件 3: 避難中のユーザや他の D-ZEV mini と移動しながらの通信を実現すること。

これらの要件を満たすため、D-ZEV mini の通信

機器は、Delay Tolerant Networking¹⁾ (DTN) 機能を実装した無線 LAN アクセスポイント（以下 AP）とする。

DTN とは、蓄積した情報を持った端末が移動し、他の端末とのリンクが確立できれば情報を伝送してその端末に蓄積することを繰り返す方式である。これは、アドホックネットワークと異なり、情報発信元から目的の相手までのリンクをすべて確立する必要がなく、不安定なネットワークでも情報伝送ができる特徴を持っている。そのため、災害情報を通信システムに蓄積し、保持しながらの移動が可能となる。また、D-ZEVmini では、AP を使用するため、D-ZEV の通信範囲外の防災拠点に滞在する多くのユーザに対して同時通信が可能となる。移動中は、AP と DTN 機能の両方を利用するため、通信範囲に避難中のユーザや他の D-ZEV mini が存在した場合、移動しながらの通信が可能となる。

4.2 通信システムの実験評価

DTN においても、蓄積されている情報の伝送中にリンクが切断されると、それまで伝送したデータが無効になってしまう。そのため、一回に送るデータサイズを制限して、複数に分割することで無効になるデータを減らす。一方で、小さいデータサイズで分割を行えば、全体に占めるリンク確立のための時間の割合が多くなるため、伝送できるデータの総量が少なくなる恐れがある。そのため、ユーザおよび他の D-ZEV mini と移動しながらの通信を行う場合に、通信システムが送信する適切なデータサイズを実験により把握する。

表 1 に、実験の概要を示す。

測定は、小型自転車である D-ZEV mini と歩行者であるユーザの通信、および D-ZEV mini 同士の通信で行った。

D-ZEV mini の実験機材は図 2、図 3 で示したものをを用いている。またユーザは、ノート PC である TOSHIBA dynabook R/73B を用いた。他の無線 LAN との電波干渉をできるだけ避けるため、無線 LAN 施設が置かれていない工学院大学犬目キャンパスのグラウンドで測定を行った。

測定は、1 台の D-ZEVmini を 100m 走らせる。ユーザとの通信の実験では、ユーザは最初 D-ZEVmini から 60m 先におり、D-ZEVmini に向かって歩行する。そして、そのまま D-ZEVmini がユーザとすれ違う。D-ZEVmini 同士は 100m 先から逆方向に D-ZEVmini

を走らせてすれ違いを行う。いずれの場合も、すれ違い時に衝突しないように最接近時に 5m の間隔をとっている。

通信範囲にユーザや他の D-ZEV mini が入ったとき、通信システムから 1 回あたり 10, 20, 30, 40MB のデータサイズのデータを、PC に実装されている FTP ソフトを用いて繰り返し送信し、受信できたデータの総量とスループットを測定する。ここでスループットは、通信が成功した場合に、1 回あたりの送信データサイズを通信にかかった時間で割った値を示している。実験はそれぞれについて 10 回ずつ実施する。

実験結果を図 6, 図 7 に示す。D-ZEVmini-ユーザ間については、送信するデータサイズが 20MB のときが、受信データ総量が最も多く平均 60MB となった。これは 3 回の通信が実現できたことを意味している。続いて、1 回あたりのデータサイズが 10MB, 30MB, 40MB の順となっている。1 回あたりの送信データサイズが 40MB のときに、受信データ総量も約 40MB であり、これはこの条件では 1 回しかデータが伝送できていないことを示している。また、10MB の時の受信データ総量が、20MB のときよりも少ない。これは、先に述べたようにリンク確立の時間ロスのためであると考えられる。

D-ZEV mini 同士の場合は、1 回あたりのデータサイズが 10MB のときの受信データ総量が一番多く、データサイズが大きいほど受信データ総量が少なくなっている。特に、30MB, 40MB のときはそのサイズよりも平均受信データ総量が少ない。これは、試行によっては、データが受信できなかった可能性を示している。

平均スループットの値は、D-ZEVmin とユーザ、D-ZEVmin 同士の違いはあるが、D-ZEVmin 同士で送信データサイズ 40MB の場合を除いて、大きな変化は見られなかった。D-ZEVmin とユーザでばらつきが大きいのは、通信を行っている 2 者の距離によってリンクの状態が変わることと、通信時間で除算をしているため、通信時間が短いと測定誤差の影響が大きく出ると考えられる。また、リンクの状態が悪いと TCP の性質によりスループットが下がるため、このことが通信中で 2 者間の距離が変化する D-ZEVmin 同士で送信データサイズ 40MB の場合に表れていると考えられる。

この結果、1 回あたり 10~20MB のデータサイズを送信することで、災害時に通信システムを有効に使用することが可能であることが明らかになった。

表 1 実験の条件

日付	2018年6月8日, 12月3日
場所	工学院大学 犬目キャンパス
実験範囲 [m]	100 × 50
実験参加人数 [人]	5
転送データサイズ [MB]	10, 20, 30, 40
測定回数 [回]	各データサイズにおいて10
送信側 D-ZEV mini の配置	(0, 25) → (100, 25) を自転車により移動
受信側 D-ZEV mini の配置	(100, 30) → (0, 30) を自転車により移動
ユーザの配置	(60, 30) → (40, 30) を徒歩により移動

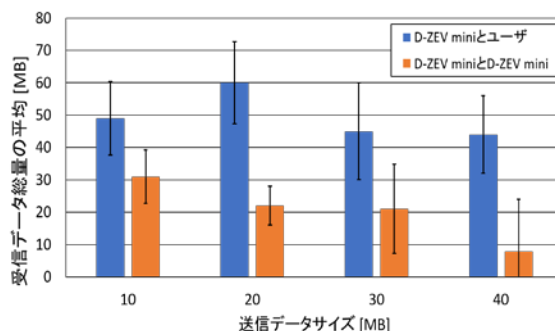


図 6 D-ZEVmini の受信データ総量

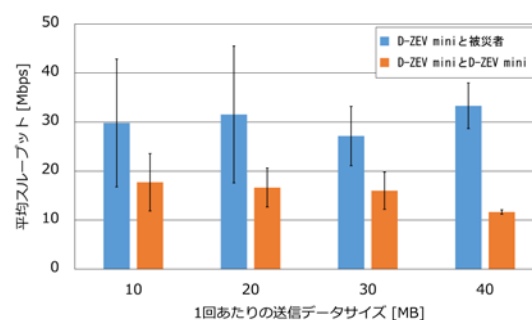


図 7 D-ZEVmini の伝送スループット

4. まとめ

本年度は、D-ZEV を用いた情報提供方式の開発とユーザ評価、および D-ZEVmini の情報伝送方式として DTN の適用可能性を実験により確認した。

次年度は、この成果を踏まえ、より実用的なアプリケーションの提案とシステムの構築を目指す。

謝辞

本研究において、実験に参加いただいた各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) V. Cerf, S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, R. Durst, K. Scott, K. Fall, and H. Weiss, "Delay-Tolerant Networking Architecture", "IETF RFC 4838", Apr. 2007.
- 2) 鈴木浩平, 田島氷河, 水野 修, "自立移動式災害対策支援ユニットにおける災害情報提供システム", 2019 年電子情報通信学会総合大会, A-19-26, 2019 年 3 月.
- 3) 田島氷河, 鈴木浩平, 水野 修, "小型自立移動式災害対策支援ユニットにおける通信システムの構築", 2019 年電子情報通信学会総合大会 B-6-16, 2019 年 3 月.

自立移動式ゼロエネルギーユニット（D-ZEV）の電力供給システム

キーワード（太陽光発電、蓄電池、自立運転、移動型）

野呂 康宏*

1. はじめに

本ブランディング事業のテーマ 3 では、地域防災拠点となる避難所等に移動して、救急救護、情報通信、エネルギー供給等、現地の活動をサポートする D-ZEV (Disaster - robust Zero Energy Vehicle) の開発を行っている。D-ZEV は、大災害時に地域災害拠点に駆けつけることができ、太陽光発電 (PV) をエネルギー源とし、停電が発生しても自立して電力供給が可能である。ただし、PV の発電量は気象条件に依存することより蓄電池を併用し、その必要容量の見極め、移動に適した構造の検討が必要である。

本報告は、試作した D-ZEV を用いて PV の発電量や負荷設備の電力需要を計測・分析した結果や、電力供給設備の使用方法をサポートする電源監視システムの開発状況についてまとめている。

2. 電力供給システムの構成と仕様

2.1 D-ZEV の概要

D-ZEV の構成イメージを図 1 に示す。D-ZEV 自身が災害対策本部と通信連携可能な情報設備を備え、搭載するサイネージ等から情報発信を行う。避難所では仮設の救急・救護スペースを開設し、その運営を、照明や空調、空気清浄機などでサポートする。さらに、小回りの利く電動アシスト自転車の D-ZEV mini と連携し、D-ZEV を拠点とした近距離圏の情報を収集する一方で、地域住民や帰宅困難者への情報発信に対応する。

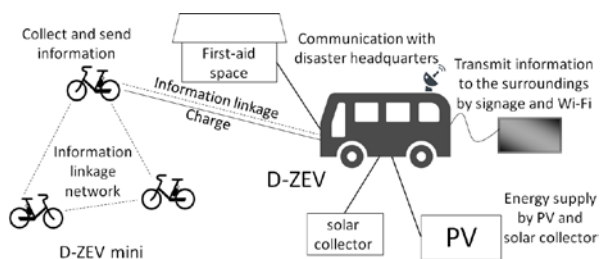


図 1 D-ZEV の構成イメージ

2.2 電力供給設備に必要な条件および構成

D-ZEV の電力供給設備に求められる条件として、自立的に電力供給が可能であることや D-ZEV 本体に搭載が可能であることなどが挙げられる。本研究ではこの条件を満たしつつ、なるべく安価な電力供給設備を構築するようにした。

対象とする電力供給システムの全体イメージを図 2 に示す。エネルギー源は太陽光 (PV) による発電とする。PV のみでは夜間や雨天時に発電ができないため、蓄電池を使用し、負荷へはインバータ経由で電力供給する。負荷設備は、簡易救護所内の照明、空調システム・空気清浄機、災害対策本部との通信を行う情報通信機器（無線 LAN 機器、PC、モニタ）、周囲への情報発信を行うサイネージおよび D-ZEV mini を想定する。

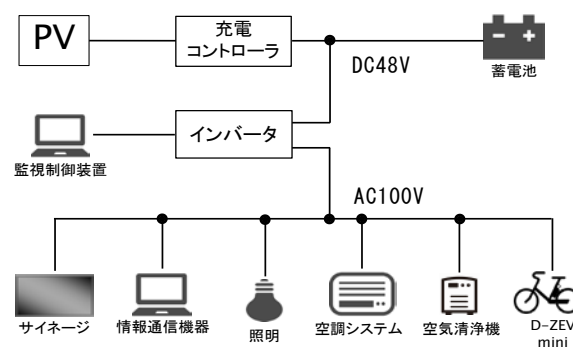


図 2 電力システムの全体イメージ

2.3 電力供給設備の仕様の決定¹⁾

まず、1 週間程度は自立的に電力供給が可能であるという条件で、D-ZEV に搭載する電力供給設備の仕様検討を行った。その結果、それぞれの必要容量はインバータ:3[kW]、PV:5[kW]程度、蓄電池:20[kWh]程度とした。また、PV パネル及びそれを支える架台にフレキシブルモジュール及びテントを使用することで、PV パネルや架台の小型・軽量化及び設置・撤収時の作業簡略化を行った。

* : 工学院大学工学部電気電子工学科

3. 電力供給システムの製作と検証

3.1 電力供給システムの製作

上記の検討を踏まえて製作した D-ZEV の試作品を図 3 に示す²⁾。D-ZEV は、電力を供給する車両（以下、電力供給車）（図 3 左）と、サイネージなどで情報を発信する車両（以下、情報発信車）（図 3 右）の 2 台を使用する。この試作品では、PV パネルが合計 15 枚（テントの屋根：12 枚、電力供給車の屋根：3 枚）使用できる。なお、PV パネルの容量は必要容量に対して不足しており、今後、増設する計画である。

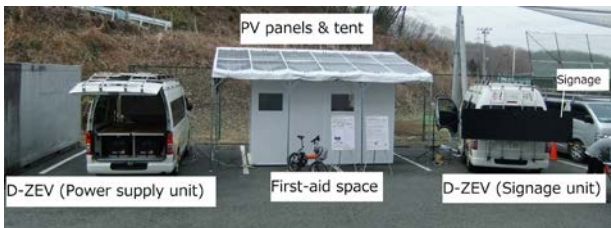


図 3 D-ZEV 試作品

3.2 太陽光発電の発電量評価

試作品を用いて、PV 発電電力の計測を行った。図 4 はテントに設置した PV パネルの発電電力と蓄電池の充電残量のグラフである。計測期間中は天気が概ね良かった。すなわち、天気がよければ、テント 1

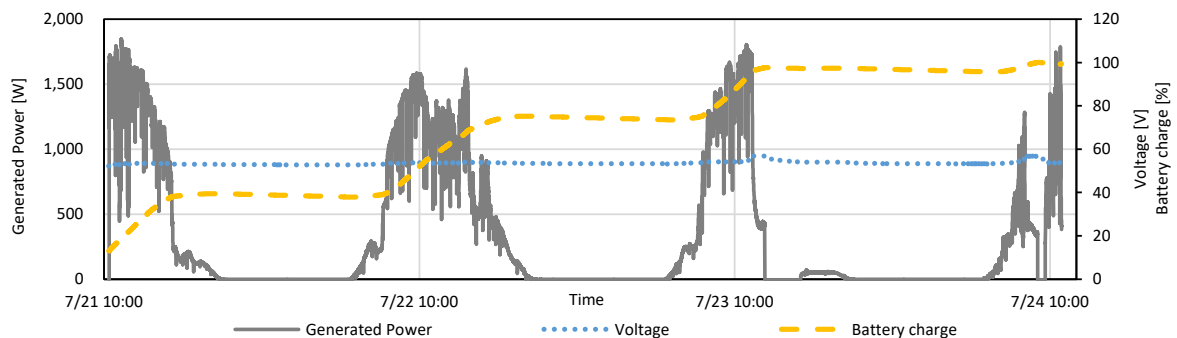


図 4 テントに設置した PV の発電出力

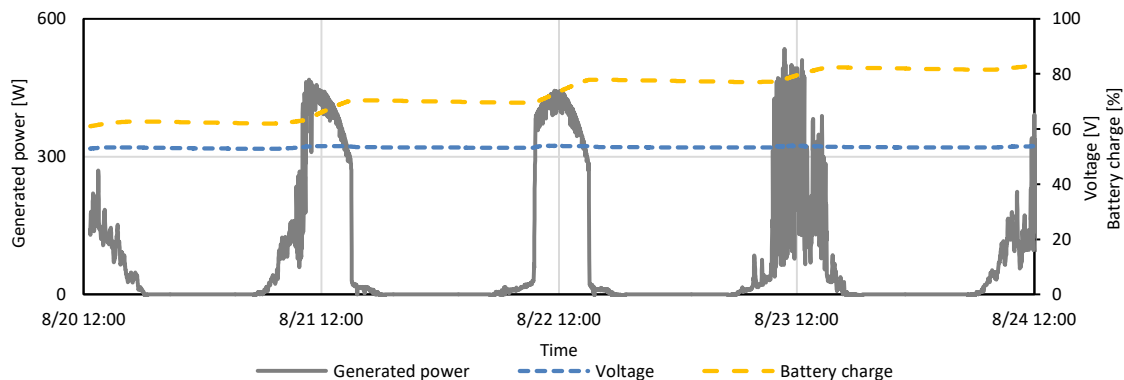


図 5 D-ZEV の屋根に設置した PV の発電出力

張り分の PV パネルでバッテリーを 1 日あたり 30 % 程度充電できることがわかる。また、2018/7/23 PM 12:00 ごろ、発電量が 0 まで低下している。これは、蓄電池の充電が 100 % になったことによって、PV 発電出力が自動的に止まったためである。

図 5 は電力供給車の PV パネルの発電電力と蓄電池の充電残量のグラフである。こちらでも、計測期間中は天気の良い日が多かった。すなわち、電源供給車の PV パネルでバッテリーを 1 日あたり 10 % 程度充電することが可能である。従って、テント 3 張り分の PV パネルと同時に発電を行えば、1 日でバッテリーをほぼ 100 % 充電が可能である。

3.3 負荷設備の消費電力評価

負荷設備の消費電力・突入電流に関しては、照明、D-ZEV mini、空調、サイネージの計測を行った。また、空調では、D-ZEV からの電力供給のみで運転が可能なのかについても実験を行った。

計測を行った負荷設備の消費電力や、当初想定していた消費電力との差を表 1 にまとめる。なお、当初サイネージは 1 台だけ使用する想定だったが、実際には 2 台使用することとした。また、D-ZEV mini は 3 台使用するため、消費電力の実測値・想定値ともに、3 台分の数値としている。

表 1 負荷設備の消費電力

Name	Actual load [W]	Assumed load [W]	Load difference [W]
Illumination	33	30	+3
Air conditioner	750	810	-60
Signage	370 (2 units)	250 (1 unit)	+120
D-ZEV mini	336 (3 units)	300 (3 units)	+36

表 1 より、実際の負荷設備消費電力は想定していた消費電力より約 90 W 上回っている。しかし、D-ZEV に搭載した各電力供給設備の容量にはある程度の余裕を持たせてあるため、上回った分の消費電力が大きな影響を及ぼす可能性は低いと思われる。

図 6(a) は空調の消費電力、(b) は始動電流である。今回使用した空調は、配管工事が不要なスポットエアコンである。(a) を見ると、16:00 前頃からグラフが凸凹している部分がある。これは、室温が設定温度に達したことで、空調のコンプレッサが ON・OFF を繰り返して温度調整を行っているからである。

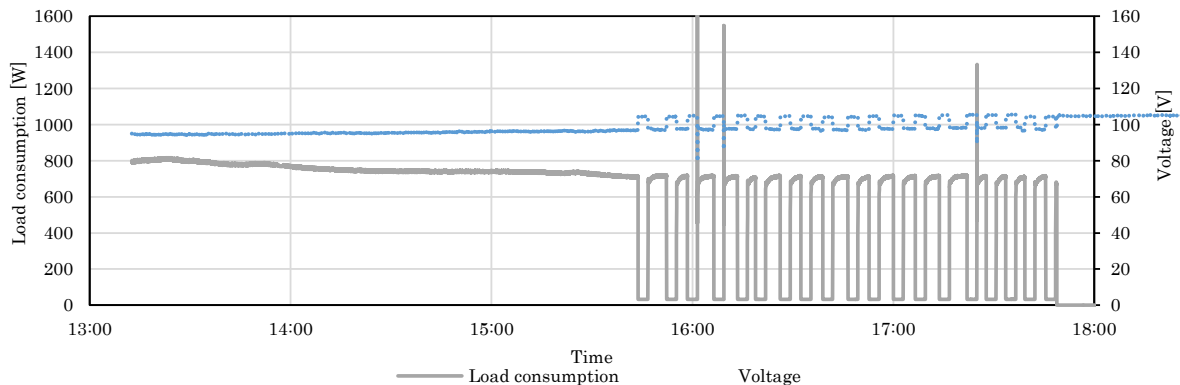
計測の結果、室内を冷却しているときの空調の消費電力は 750 W 程度、コンプレッサが OFF(室内ファンのみ稼動)の時の消費電力は 30 W 程度だった。

始動電流は、(b) よりピーク値 42.7 A と大きな値であった。定常時はピーク値 9 A 程度であるため、始動電流は定常時の 4.7 倍であり、インバータの許容値とほぼ同レベルであることがわかった。また、この時、電圧は約 25.9% (ピーク値 142.3 V → 105.5 V) 低下したが特に保護装置は動作しなかった。

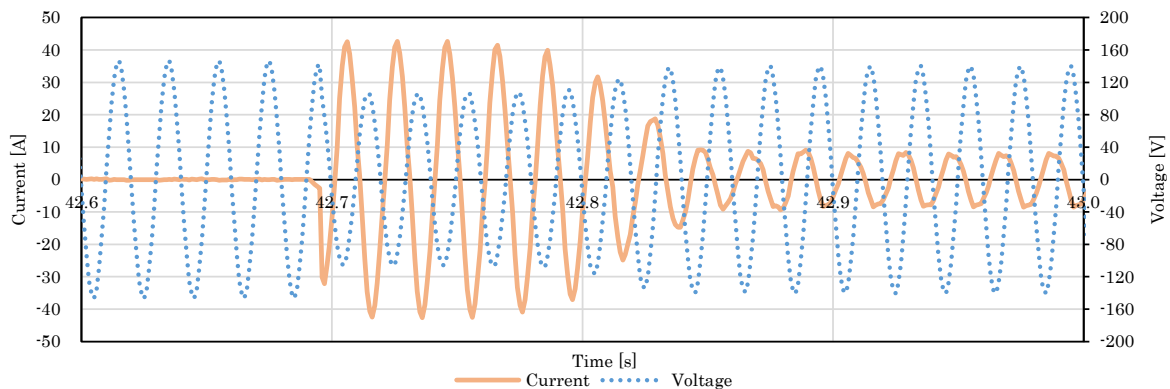
次に、外気温の高い日に D-ZEV から空調への電力供給を行った。前述のように空調の始動電流は大きかった。しかし、D-ZEV に搭載されているインバータの保護機能は動作しなかった。また、空調を数十分間動作させ続けたが、D-ZEV からの電力供給は停止しなかった。すなわち、空調の始動・運転は正常に行われる結果が得られた。

3.4 蓄電池の容量およびシステムの評価

実測した PV 発電電力データおよび負荷データを用いて、蓄電池容量の妥当性を評価した。その結果、PV パネルが現状 (約 2.6 kW) の容量であれば、1 週間の運用のためには蓄電池容量が明らかに不足して



(a) 消費電力



(b) 始動電流

図 6 空調の消費電力および始動電流の計測結果 (7/21)

いるが、PV パネルの容量を 2 倍（約 5.2 kW）とすると、空調を使用しても蓄電池残量は必要量を維持できる可能性が高いことが確認できた。すなわち、当初検討した設備容量が妥当であると評価できた。

3.5 成果の公表

2018 年 8 月 30 日～31 日に開催されたイノベーションジャパン 2018 では、D-ZEV の電源車と説明パネル（テーマ 3 合同）を出典し、成果を発信した。また、11 月 13 日～11 月 21 日に開催された新宿駅周辺防災対策協議会の防災ウィークでは、工学院大学南側、新宿中央公園、および、新宿野村ビルの 3 か所で D-ZEV 全体の展示に加え、サイネージや炊き出し（電磁調理器）への電源供給を行い、成果の発信とともに運用上の問題点をチェックした。

3.6 試作品を運用しての改善点

いくつかの状況での運用を行った結果、以下に代表する要改善点が判明し、今年度の研究・製作に反映した。

- (1) 保管中に蓄電池残量が自然減で低下するため、商用電源からも充電ができるようにする。
- (2) テントは大型で重量もあるため、設置のために最低でも 12 人程度が必要であり、時間もかかる。そこで、軽量化が必要。

3.7 今年度製作の主な装置

2017 年度に製作した試作機では、PV パネルの容量が不足しているため、テント一張り+PV パネルを 12 枚追加で製作する。ただし、テントは 3.6 に示した改善点を考慮して、支柱をアルミ製にする、高さを低くするなど軽量化を図ることとした。

4. 電源監視システム

4.1 電源監視システムの必要性

電源監視システムとは、災害時に蓄電池からの電力供給をなるべく長期間利用するために、その日の使用可能電力量を把握し、利用者を支援するためのシステムである。システムには、(i) 使用可能電力予測機能 (ii) 予測値補正機能 (iii) 計測機能 (iv) ログ機能 の 4 つの機能を搭載させる。以下に、この機能を実現するうえで重要な研究開発要素について検討結果を示す。

4.2 太陽光発電量の予測

以下の手順で発電量を推定することとし、プログラムを作成し、精度の検証を行い、システム運用には十分な精度が得られることを確認した。

- (1) 天気予報を行っている HP より、予報データを収集する。
- (2) 天気予報の結果より、晴天係数を算出する。
- (3) 地域の緯度経度や季節情報から 1 時間ごとの大気圏外全天日射量を算出する。
- (4) (2)、(3)およびパネルの効率などのデータより発電量を推定する。

4.3 需要の推定

負荷設備の内、空調については消費電力が大きく、また、気温により変化することより、計測データを分析して消費電力推定のための近似式および予測フローを決めた。その他の設備は、前日の稼働実績を当日以降の予測に使用することとした。

4.4 電源使用ガイドの算出方法

PV の発電量、負荷の消費電力より、2 日先まで 1 時間ごとの蓄電池残量を推定し、その値から、蓄電池残量が十分であるか、不足する可能性があるかをアナウンスする方法を検討した。また、これらの表示方法を検討した。

4.5 今後の課題

一部の機能については、プログラムの作成が行われていない部分や、精度検証が不十分な部分が残っており、今後完成させる必要がある。

5. おわりに

D-ZEV は、2017 年度に製作した試作機を用いて、発電量や負荷の消費電力の実測・評価を行い、当初の検討方法の妥当性を確認すると同時に、改善点を反映して 2018 年度の追加分を試作した。

今後は、改善点の確認や精度向上のための計測を継続するとともに、電源監視システムについても、プロトタイプの完成を目指す計画である。

参考文献

- 1) 久保、野呂、自立移動式ゼロエネルギーユニット（D-ZEV）における電力供給システムの検討、電気学会電力技術/電力系統技術合同研究会、pp.101-105、2017
- 2) Y. Kubo, Y. Noro, Study of Power Supply System for Disaster-robust Zero Energy Vehicle (Part 4), IEEEJ IWPI2018, pp.101-105, 2018
- 3) 久保、野呂、自立移動式ゼロエネルギーユニット（D-ZEV）における電力供給設備の検討（その 5）、平成 31 年電気学会全国大会、7-508

簡易救護ユニット空調システムの研究

簡易救護ユニット、間接蒸発、デシカント

横山 計三* 富樫 英介*

中島裕輔* 柳 宇*

1. はじめに

本ブランディング事業のテーマ 3 では、災害時に避難所などに移動して、現地の活動をサポートする D-ZEB の開発を行っている。本研究では、移動先に太陽光発電、太陽集熱装置を設置し、紙製の簡易救護ユニットを組み立て、その内部の空調をテーマとしている。この空調ユニットは、できるだけ現地のエネルギー源を用いずに自立して空調を行うことを目的としている。昨年度は、空調システムで用いる間接蒸発ユニットの性能試験を行った。本年は、新たな間接蒸発ユニットの試作とその性能評価及びデシカントユニット再生用に供給する太陽熱集熱器の性能評価などの要素実験を行った。

2. 空調システム

2.1 システムの概要

空調システムは、室内空気と外気を混合しデシカントユニットにて除湿する。高温低湿となった空気は、間接蒸発冷却ユニットによって冷却する。デシカント剤の再生は、太陽熱による温水にて行う。システムのダイアグラムを Fig.1 に示す。

2.2 簡易救護ユニットの冷房負荷

夏期に太陽光発電装置付きのテント及び簡易救護ユニットを組み立て、外周部に冷却用の水膜を設置して、室内の温湿度を計測した。冷却には、ユニット型のパッケージ空調機を用いた (Fig.2)。その結果を Fig.3~5 に示す。

空調機は 13 時に起動した。起動時の外気温は、35℃、室温は 38℃であったが、15:50 頃に室温が 28℃となり ON-OFF 運転に移行した。その時の外気温は 32℃で、冷房負荷は 1.9kW であった。負荷は当初の想定より大きく、その原因として、水膜の隙間があるので冷却効果が低い、パネルの隙間が大きく隙間風が多い、テントの内側の温度が高温になり天井面からの熱が侵入していることなどが考えられた。今後、これらの対策を検討し、負荷の低減を図る予定である。

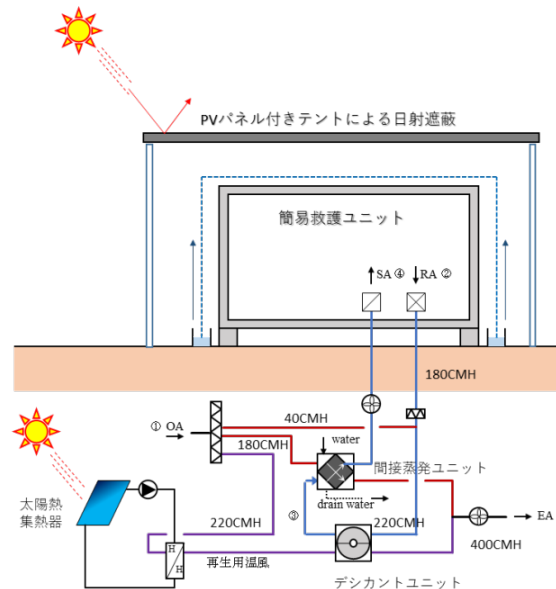


Fig.1 空調システムダイアグラム



Fig.2(a)水膜設置状況

Fig.2(b)室内

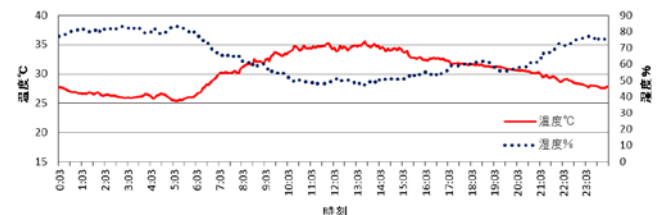


Fig.3 外気温(7月21日)

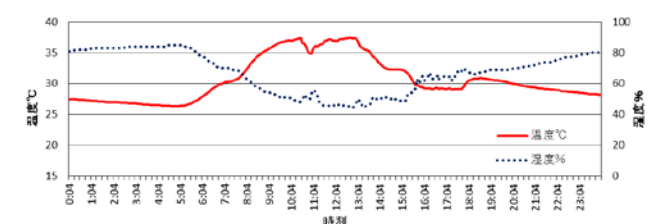


Fig.4 室温(7月21日)

* : 工学院大学建築学部

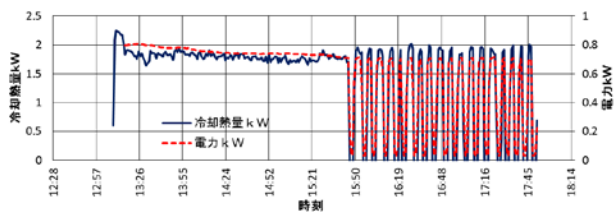


Fig.5 熱量と電力量(7月21日)

3 間接蒸発冷却ユニット

3.1 ユニットの概要

間接蒸発冷却とは、水の気化現象を利用して冷却された空気と空調空気を顕熱交換により冷却する装置である。昨年度の実験では、試験体に十分な性能が期待できないことが分かったので、新たに MDI 社製顕熱交換器と水噴霧を組み合わせた装置を試作した(Fig.6、7)。

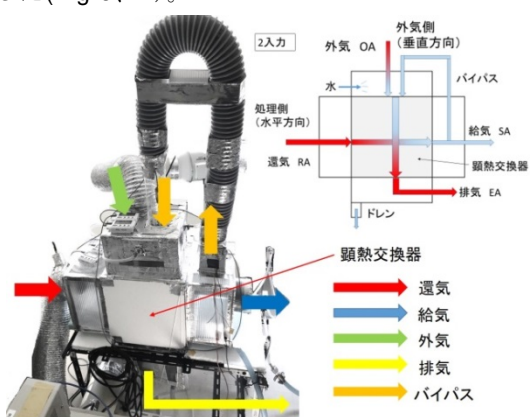


Fig.6 実験装置



Fig.7 顕熱交換器 (MDI 社製) 及び水噴霧ノズル

(1)実験ケース

冷却用外気風量(同風量、66%、150%)、バイパス(0、25%、50%、100%)、水噴霧量(0、0.033、0.066、0.0132L/min)、噴霧箇所(2 か所)をパラメータとして全 16 ケースの実験を行った。

(2)実験結果

実験結果の一覧を Table.1 に示す。また、空気線図上での空気状態を Fig.8 に示す。

①空気状態：図はケース 2-2 であるが、入口空気が顕熱交換により冷却されているので絶対湿度はほぼ

Table.1 計測結果一覧

実験番号	給気風量 m ³ /h	風量比	熱量比	顕熱 交換効率	噴霧時の 顕熱交換	実加湿量 L/min	冷却熱量 kW	顕熱 交換効率	噴霧時の 顕熱交換
1-1(1)	181	0.98	1.05	0.84		0	0.26	0.84	
1-2(2)	178	0.96	1.06	0.58		0	0.25	0.58	
2-1(3)	175	1.01	1.06		0.9	0.0236	0.74	2.26	0.9
2-2(4)	182	0.81	1.10		0.85	0.0302	0.86	2.21	0.85
3-1(5)	171	1.28	0.89		0.91	0.0127	0.68	2.23	0.91
3-2(6)	181	0.93	1.06		0.64	0.0128	0.56	1.98	0.64
4-2(8)	178	0.92	1.00		0.84	0.0376	0.6	3.32	0.84
5-1(9)	144	1.51	1.11	0.9		0	0.3	0.9	
5-2(10)	138	1.43	1.17	0.72		0	0.25	0.72	
6(11)	134	1.55	1.12		0.86	0.0224	0.57	2.47	0.86
7-1(12)	211	0.62	0.97	0.73		0	0.24	0.73	
7-2(13)	198	0.66	1.00	0.57		0	0.19	0.57	
8-1(14)	199	0.65	1.03		0.87	0.0191	0.85	2.72	0.87
8-2(15)	177	0.69	0.99	0.72		0.0245	0.8	2.03	0.72
9(16)	185	1.34	1.13	0.71		0	0.24	0.71	
10-1(17)	183	1.36	1.06		0.7	0.0284	0.67	2.63	0.7
10-2(18)	183	1.45	1.00	0.72		0.034	0.65	2.79	0.72
11(19)	187	1.25	0.93	0.72		0	0.28	0.72	
12(20)	178	1.26	1.01		0.78	0.0265	0.92	2.01	0.78
13(21)	187	0.5	1.05	0.54		0	0.25	0.54	
14(22)	187	0.46	1.05		0.53	0.0075	0.57	0.58	0.53
15(23)	125	0.98	1.19	1		0	0.08	1	
16(24)	130	1.01	1.14		0.82	0.0142	0.41	0.85	0.82

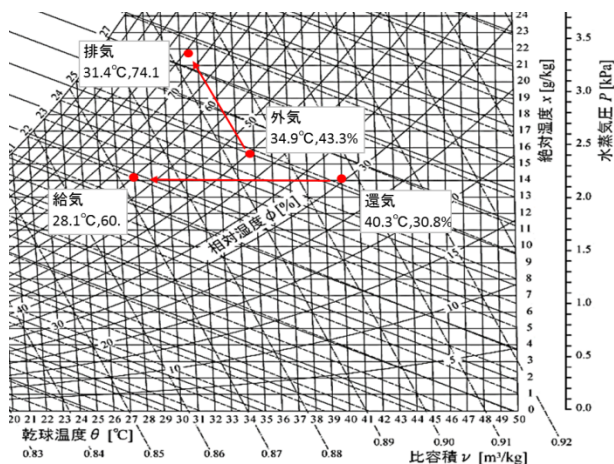


Fig.8 実験番号 2-2 空気状態図

定である。一方、冷却用外気は、水噴霧による加湿冷却と空調空気からの熱取得により加湿・冷却されている。

②顕熱交換効率：効率は水噴霧無しでは 0.72、水噴霧ありでは 0.80 となった。風量比と顕熱交換効率の関係は、外気風量と給気風量を 2/3 倍、同風量、1.5 倍の 3 水準で実験したが、この範囲では影響していなかった(Fig.9)。

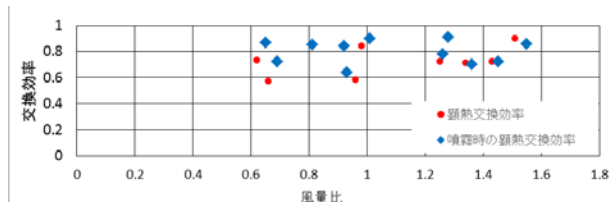


Fig.9 風量比と顕熱交換効率

③冷却熱量：水噴霧がありバイパスを使用するケース 12 が 0.92kW と全ケース内で最大となった(Fig.10)。水噴霧がない場合は、当然であるが、0.2kW 程度で低い。また、風量による相関はややあり、風量が増加すると冷却熱量も増加する傾向にある。

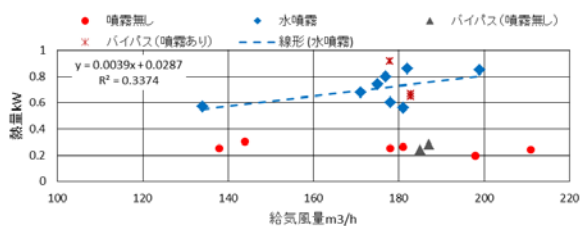


Fig.10 給気風量と冷却能力

④加湿量と冷却能力：本実験の範囲では、加湿量と冷却能力の関係は見られなかった。ただし、水噴霧なしの場合は、冷却能力は、大きく低下する。なお、加湿効率（加湿量/噴霧量）は平均で 37%であった。

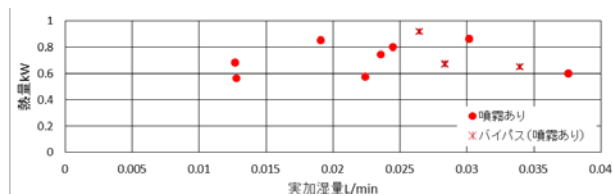


Fig.11 実加湿量と冷却能力

3.2.LCEM ツール¹⁾によるシミュレーション

(1)モデル化

間接蒸発冷却器の実験結果を基に顕熱交換効率 0.8、水噴霧の飽和効率を 0.8 としてモデル化を行った。また簡易救護ユニットの熱収支と水膜による外皮の温度低下を、水膜の飽和効率を 0.6 としてモデル化した。デシカント除湿器はモデル化していないので、デシカント出口温度は乾球温度 40°C、相対湿度 24%一定としてシミュレーションを行った。Fig.12 にシミュレーションのブロック図を示す。

(2)シミュレーション条件

シミュレーションは、以下の条件で行った。期間：6/1-10/31、気象データ：省エネルギーセンター原単位管理ツール v6.10 2014 年の東京の気象データ、運転条件：外気の乾球温度が 25.5°C以上または絶対湿度 0.014kg/kg 以上の時、間接蒸発冷却器を運転する。

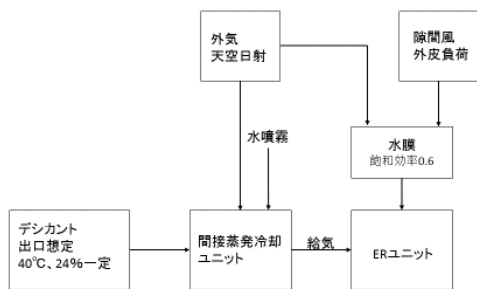


Fig.12 シミュレーションブロック図

(3)シミュレーション結果

間接蒸発冷却器と水膜を組合せたシミュレーション結果を Fig.13 に、水膜がない場合を Fig.14 に示す。水膜がない場合は、6/1-10/31 の 3672 時間中、外気冷房で処理できる時間は 1303 時間、空調運転時で 1065 時間が 29°Cを超えているが、水膜を加えると室温が 29°Cを超える日は、564 時間と約半分まで減らすことができ、水膜の効果が期待できる。また、間接蒸発冷却器の冷却能力は約 0.8kW~1.2kW であった。

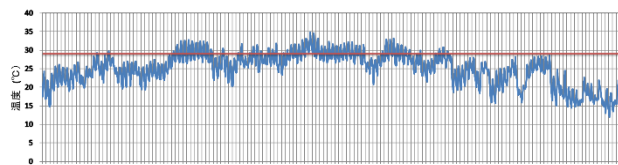


Fig.13 水膜ありの室内温度

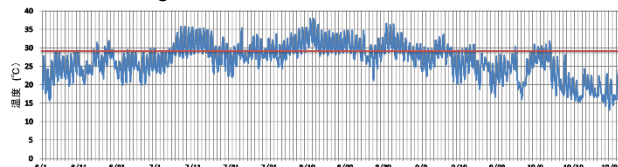


Fig.14 水膜なしの室内温度

4.真空ガラス管型集熱器の性能実験

4.1 実験の概要

実験装置は、集熱器を南向きに 1 枚設置し、傾斜角度が調節できるようにする (Fig.15、16)。計測は、試験体の水の出入口温度、循環流量、冷却装置の出入口空気温度と風量、気象条件としてパネル傾斜面日射量、風向、風速、外気温度である。実験は、流量を 4.4L/min と 2.0L/min の 2 水準、傾斜角度を 7.5° と 20°の 2 水準、計 4 ケースで行った (Table.2)。

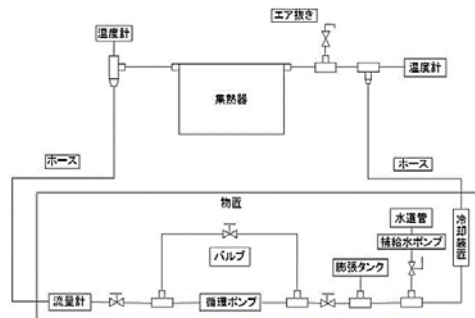


Fig.15 実験装置系統図



(a)集熱器

(b)配管系

Fig.16 実験装置

Table.2 実測ケースと日程

ケース	期間	流量(L/min)	角度(°)
1	7/20~8/2, 8/27~9/6	4.4	20
2	8/2~8/4, 8/20~27	2.0	20
3	9/6~18	4.4	7.5
4	9/18~11/30	2.0	7.5

4.2 実験結果

Fig.17~21 に代表日として晴天日の 8 月 25 日、ケース 2 の計測結果を示す。

①日射量と集熱量 (Fig.17)

集熱量の最高は約 900(W)、日射量の最高は約 970 (W/m²) となった。10 時以降を見ると日射量が上昇しているにもかかわらず、集熱量は一定になっている。また、12 時以降は日射量が低下しているにもかかわらず、集熱量は 15 時まで一定のままになっている。このように集熱量は、特徴的な状態を示している。

②集熱効率 (Fig.18)

Fig.18 に集熱効率(集熱量/日射量)と集熱効率変数 ((平均集熱温度-外気温)/日射量) の時系列を示す。9 時以降の日射量が大きくなるにつれ、集熱効率、効率変数ともに増大し、日中は、効率 35%程度で一定値を示している。その後夕方にかけて集熱効率、効率変数ともに上昇している。

Fig.19 に効率線図を示す。メーカー提示の性能特性は右下がりに対して、実験結果は右上がりとなっている。これは、Fig.17 からわかるように高日射になるに従い集熱量が頭打ちになるのが原因と考えられる。集熱器のメーカーに確認し、ヒートパイプの熱輸送が充分でないことが原因ということがわかった。また、日射量がピークをすぎて低下していく時に集熱量は高いところを維持しているため、日射量が低下しても集熱効率が高くなっていく。これは、ヒートパイプに蓄積された熱が供給され続けるためと考えられる。

③水温 (Fig.20)

集熱器出入口水温の最高温度は入口が 67°C、出口が 73°C となった。また、流量が 4.4(L/min)の場合、

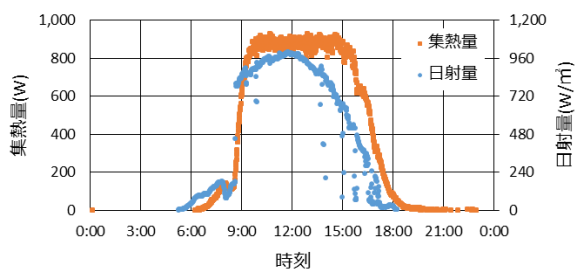


Fig.17 集熱量と日射量

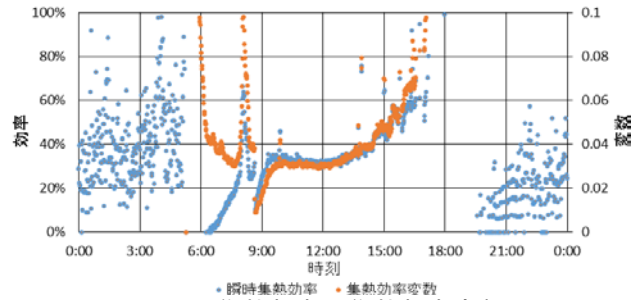


Fig.18 集熱効率と集熱効率変数

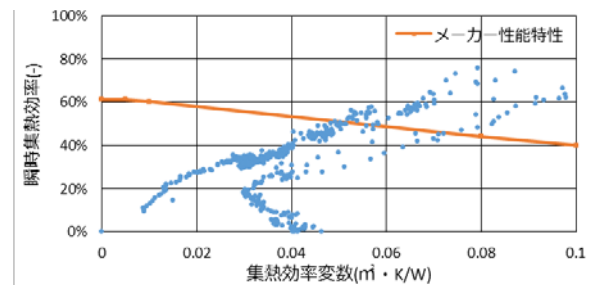


Fig.19 効率線図

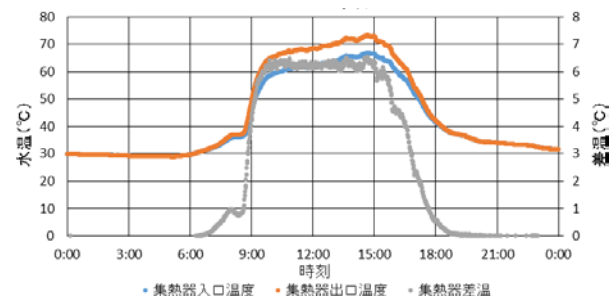


Fig.20 集熱器の出入口水温

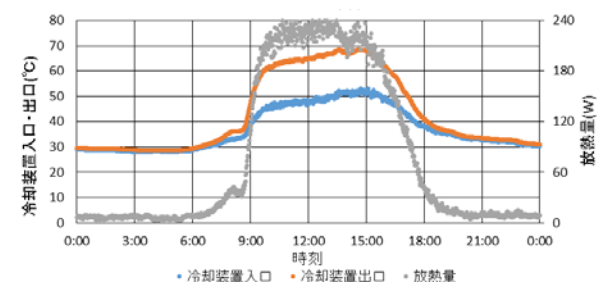


Fig.21 コイル出入口空気温度

集熱器の入口と出口の水の温度差は約 3°Cだが、流量 2(L/min)にすると温度差は 6°Cあった。

④放熱コイル (Fig.21)

コイルの出入口空気温度の最高温度は入口が 53°C、出口は 70°C、放熱量の最大値は 240(W)となった。放熱量が集熱量約 800W に比べて小さいのは、配管経路に熱ロスと考えられる。

4. 集熱効率特性

4.1 瞬間集熱効率

4 ケースの効率を、JIS の条件を参考に日射量 600W 以上、日射量は測定中の変動は 50W/m²以内、

風速 4m/s 以内、集熱媒体入口温度の変動は±0.5K/分に絞り、効率特性式を得た。Fig.22、23 にケース 4 のすべての時間の瞬時集熱効率と絞り込み後を、Table.3 に効率特性式を示す。

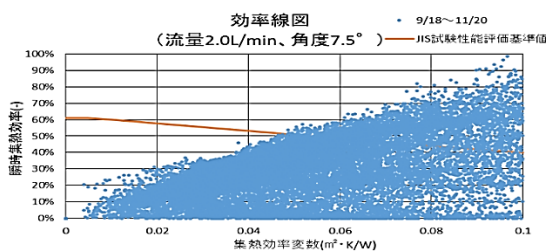


Fig.22 ケース 4 瞬時集熱効率

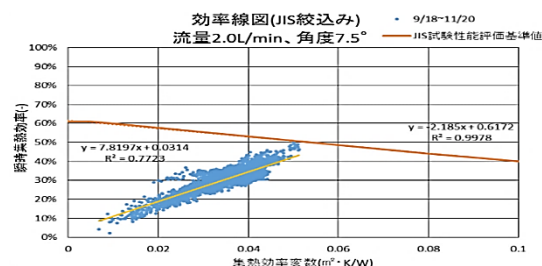


Fig.23 ケース 4 瞬時集熱効率（絞り込み）

Table.3 効率特性式

	計測内容	効率特性
ケース1	流量4.4L/min、角度20°	$y = 5.9416x + 0.0994$
ケース2	流量2.0L/min、角度20°	$y = 5.5228x + 0.1296$
ケース3	流量4.4L/min、角度7.5°	$y = 9.9301x - 0.0008$
ケース4	流量2.0L/min、角度7.5°	$y = 7.8197x + 0.0314$

y : 集熱効率(%) x : 集熱効率変数(m² · K/W)

4.2 日積算集熱効率

4 ケースの実測期間の晴天日と曇天日の代表日から日積算集熱効率を求めた。日射量が約 2.0(kWh/m²)を超えたあたりで効率は 35%前後になり、約 35%に到達するとそれ以上は上昇せず一定となる。また、角度や流量を変えても効率にあまり変化が現れないことがわかった。

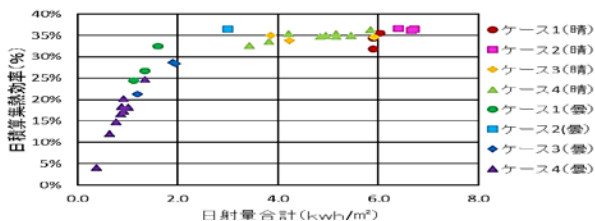


Fig.24 日積算集熱効率と日射量

4.3 LCEM による効率特性の確認

実測の効率特性の妥当性を確認するために、LCEM による住宅の給湯システムでシミュレーションを行った。住宅給湯のモデルは、4 人家族を想定

し、給湯パターンは通常状態の MI スタンダードモードを用いる。

(1)実測結果の特性式によるシミュレーション

実測結果のケース 4 の効率特性式を用い、角度は 7.5°、集熱器 1 枚としてシミュレーションを行った。Fig.25 に集熱効率の結果を示すが、Fig.17 の実測結果とは大きく乖離している。また、参考にメーカー提示の効率特性で行った集熱効率は全体に効率が大きく、やはり実測と一致していない (Fig.26)。

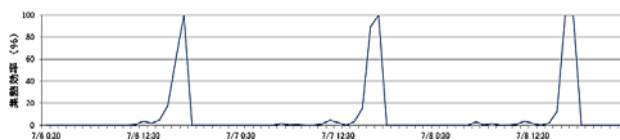


Fig.25 実測特性による集熱効率

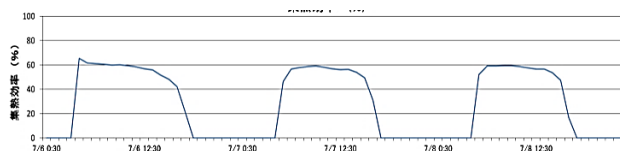


Fig.26 メーカー提示特性の集熱効率

(2)回帰分析による比較

集熱効率と集熱効率変数から得た集熱効率特性は、実態と異なったため、流量 2.0L/min、角度 7.5°のケースで日照時間 10 時間以上の 4 日分の計測値を用いて日射量、集熱器出入口水温の平均温度から外気温を引いた温度差、集熱効率変数をパラメータに、Table.4 に示すように 4 パターンの回帰分析を行った。分析から得た式を用い LCEM シミュレーションした結果、日射量を説明変数とした効率式が、集熱量 (Fig.27) や集熱効率 (Fig.28) 等が実測結果に最も類似していた。

Table.4 回帰分析による特性式

番号	説明変数	効率特性式
1	日射量	$y = -24.9553x_1 + 52.298641$
2	日射量+温度差	$y = -45.2506x_1 + 1.228168x_2 + 34.54712$
3	日射量+温度差+効率変数	$y = 2.806105x_1 - 0.20116x_2 + 0.804623x_3 + 768444$
4	効率変数	$y = 0.730545x_3 + 7.180055$

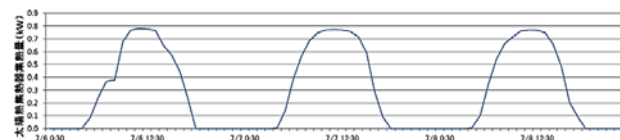


Fig.27 集熱量(回帰特性 1)

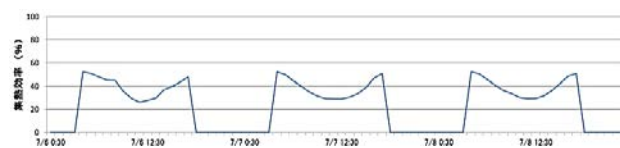


Fig.28 集熱効率(回帰特性 1)

(3)日積算集熱効率の比較(Fig.29)

回帰分析の 4 特性とメーカー提示の効率特性の日積算集熱効率を夏、秋について求めた。実測の日積算効率が 35%前後だったことに対し、回帰式 2~4 では 20%以下と低く、またメーカー提示の特性では 50~55%で実測の効率と大きく異なった。したがって、日射量で回帰した集熱効率特性が最も妥当性があると判断し、効率特性を式(1)とした。

$$y = -24.9553x + 52.298641 \quad (1)$$

y : 集熱効率(%) x : 日射量(kW/m²)



Fig.29 各種集熱特性による日積算効率

5.コイルの特性

放熱コイルの設計仕様から伝熱係数 KF のモデル式として、LCEM のコイルのモデル式²⁾をもとに式(2)とした。また、交換熱量 qt を伝熱係数 KF で表すと式(3)となる。

$$KF = \frac{-92.6096}{(0.12385 \times VA^{-0.47588}) + (0.015385 \times VW^{-0.64635})} \quad (2)$$

KF : 伝熱係数[W/m²°CRow]、

VA : 風速(m/s)、Vw : 水量(m/s)

$$qt = Row \times KF \times dtlm \times AF \quad (3)$$

qt : 交換熱量[w]、dtlm : 対数平均温度差[°C]

Row : 列数、AF : コイル正面面積[m²]

このコイルモデルの妥当性を把握するため、1 分ごとの実測値（コイル入口空気温度、コイル入口水温、風量、流量）を用い、コイルの出口空気温度とコイル出口水温、放熱量を計算した。夏と秋それぞれ 2 日分を行った。Fig.30 から実測値と計算値は、コイル空気出口温度はよく一致しており、放熱量についても概ね一致しており、モデル式の妥当性が確認された。

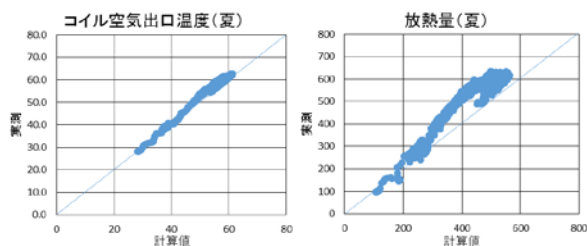


Fig.30 コイルの空気温度と放熱量

6.まとめ

本研究では簡易救護ユニットの空調システムにおける間接蒸発冷却器の試作と性能評価、デシカント再生用の太陽熱集熱器の特性試験を行い、LCEM シミュレーションモデルを検討した。これらの結果より以下のことが分かった。

①簡易救護ユニットの夏期の冷房負荷は、1.9kW を超えることがわかった。水膜やパネルの隙間、ユニット上部の材質などに検討の余地があることが分かった。

②間接蒸発冷却ユニットの試作と計測において、顕熱交換効率は 0.72、噴霧時の顕熱交換効率は 0.80 となった。風量が 180m³/h では、冷却能力が最大で 0.92kW であった。

③真空管型集熱器の効率は、メーカー提示の特性とは大きく異なり、日射量をパラメータとした回帰式が最も集熱効率特性を表していることが分かった。

本年の研究では、空調システムの各要素について性能評価を行ったが、来年度は、デシカント除湿器、間接蒸発冷却器、太陽熱集熱器などを組み合わせた空調システム全体について、シミュレーションモデルを確立して有効性を評価し、それに応じて各要素を組み合わせたシステムを構築し、システムの可能性、有効性を検討する予定である。

謝辞

本稿における計測と解析は、2018 年度卒業生の平田彩夏君、横山慶一君が中心に行ったものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課、LCEM ツール ver3.10、http://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku_lcem_index.htm
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課、LCEM ツール ver3.10 主要オブジェクトの計算アルゴリズム、平成 26 年 2 月

簡易救護ユニットにおける室内浮遊粒子の制御に関する実証

キーワード：簡易救護ユニット，空気清浄，浮遊粒子

柳 宇*
横山計三*

富樫英介*
中島裕輔*

1. はじめに

本研究では、被災時の一時緊急利用施設としての簡易救護ユニットを考案し、そのユニット内の浮遊粒子濃度の制御に関する検討を行った。簡易救護ユニットの用途としては、緊急時に一時的な医療行為を施す空間、一時的な避難場所などが挙げられる。従って、ユニット内の空気質、とくに微生物・花粉を含めた浮遊粒子状物質の制御が重要な課題となる。

昨年度は、簡易救護ユニットの容積を踏まえて病院の診察室における浮遊粒子濃度に対する空気清浄機の低減効果の実証を行い、予測値と実測値の差が5%程度であることが分かった。また、空気清浄機を強のモード（180m³/h）で運転した場合、30分後のユニット内の濃度は初期濃度の20%になることが予測された¹⁾。

今年度では、試作した新たな間接蒸発型簡易救護ユニット²⁾を用いて評価を行った。

2. 試験方法

写真1に試験装置の外観を示す。試験に市販の空気清浄機（EP-NZ30，風量90m³/h）を用いた。実際使用時の状況を考慮し、空気清浄機を壁沿いに設置した。また、実験開始時の室内浮遊粒子濃度を高めるために、発煙管による煙の発生を行った。煙発生が終了した直後に粒径別浮遊粒子濃度を1分間隔の連続測定を行った。パーティクルカウンタの粒径測定範囲は0.3～0.5μm，0.5～0.7μm，0.7～1.0μm，1.0～2.0μm，2.0～5.0μm，5.0μm～の6段階である。



写真1 試験室

3. 結果

図1に0.3～0.5μmの浮遊微粒子濃度の経時変化を示す。約20分経過した時点での濃度は初期濃度の75%になり、昨年予測の30分後の20%よりはるかに上回った。その原因として、風量が半分になっているほか、試験室の気密性が低く、室内の濃度に及ぼす外気濃度の影響が大きいことなどが挙げられる。

図2に本試験を行う直前の室内0.3～0.5μmの浮遊粒子濃度を示す（外気濃度とみなされる）。その濃度が200000p/Lを上回っている。従って、空気清浄機を稼働しても外気の侵入による室内濃度の上昇分が大きいいため、0.3～0.5μmの微粒子濃度の低減は限られている。今後の対策として、試験室の気密性を高めることが考えられる。

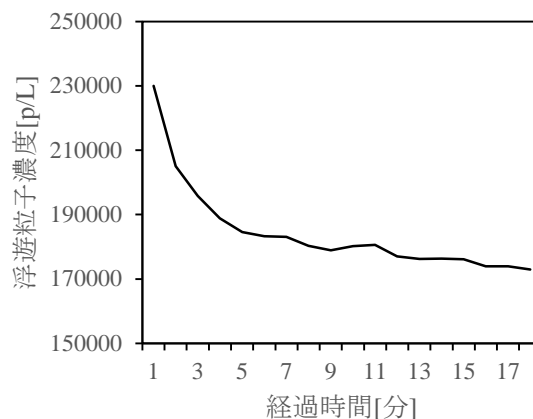


図1 0.3～0.5 μm 浮遊微粒子濃度の経時変化

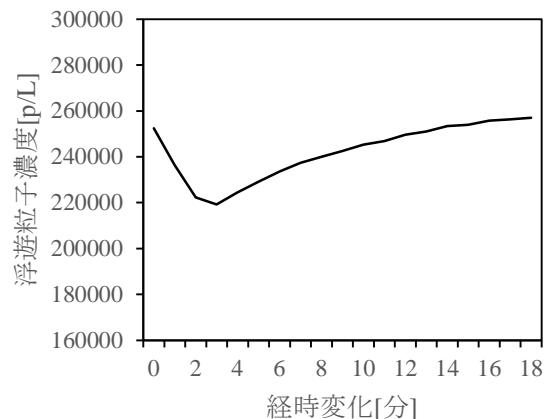


図2 0.3～0.5 μm 浮遊微粒子のバックグラウンド濃度

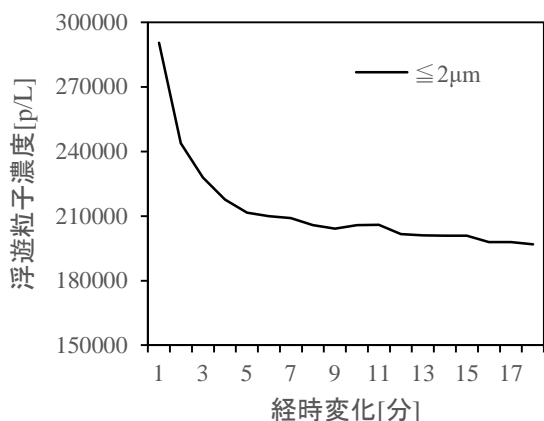


図 3 $\leq 2 \mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度の経時変化

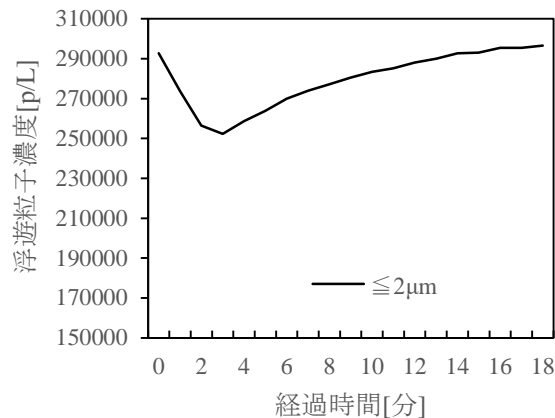


図 5 $\leq 2 \mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度のバックグラウンド濃度

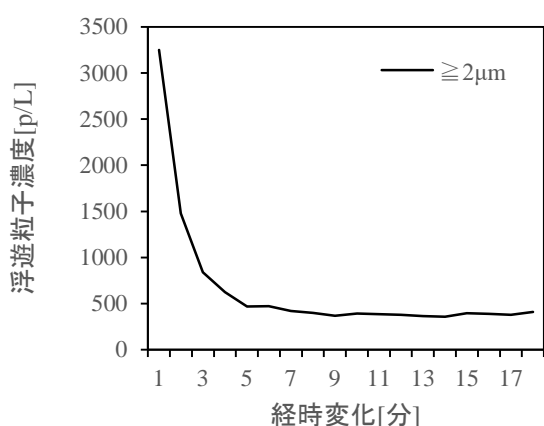


図 4 $\geq 2 \mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度の経時変化

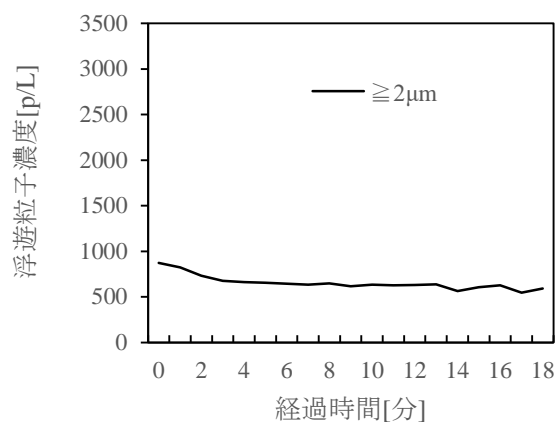


図 6 $\geq 2 \mu\text{m}$ 浮遊粒子濃度のバックグラウンド濃度

図 3 と図 4 のそれぞれに $\leq 2 \mu\text{m}$ (Fine particle) と $\geq 2 \mu\text{m}$ (Coarse particle) の浮遊粒子濃度の経時変化を示す。約 20 分後の濃度はそれぞれの初期濃度の 68% と 13% になった。浮遊粒子の粒径が大きいくほど慣性力が大きくなる。空気清浄機に備えられたエアフィルタの捕集原理の一つは慣性衝突である。従って、 $\leq 2 \mu\text{m}$ よりも慣性力の大きい $\geq 2 \mu\text{m}$ の粒子の方が多く捕集される。約 20 分後にそれらの減衰率間の差が 5 倍にもなった。しかし、ある濃度までに低下したら、前述した外気による影響が大きくなるため、その濃度が低下しにくくなった。参考まで、図 5 と図 6 に本試験直前の室内浮遊粒子濃度を示す。

4. おわりに

今年度では、試作した新たな間接蒸発型簡易救護ユニットを用いた評価を行い、下記に示すことが分かった。

- 1) 空気清浄機約 20 分間運転後の $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 浮

微粒子濃度は初期濃度の 75% になり、昨年での予測よりはるかに高かったことから、試験室の気密性を高め、空気清浄機による効果をより発揮できるようにする必要がある。

- 2) 現状では、本研究に用いたユニットを用いれば、微粒子 ($\leq 2 \mu\text{m}$) と粗大粒子 ($\geq 2 \mu\text{m}$) に対する浄化効果が認められ、風量 $90 \text{m}^3/\text{h}$ 条件での運転 20 分後のユニット内の濃度はそれぞれの初期濃度の 68% と 13% までに低下する。

参考文献

- 1) 柳 宇, 中島裕輔, 横山計三, 富樫英介: 簡易救護ユニットにおける室内浮遊粒子物質制御に関する研究, 文部科学省 私立大学研究ブランディング事業 (平成 30 年度), 工学院大学総合研究所 都市減災研究センター成果報告書 テーマ 3
- 2) 横山計三, 富樫英介, 中島裕輔, 柳 宇: 簡易救護ユニット空調システムの研究, 文部科学省 私立大学研究ブランディング事業 (平成 30 年度), 工学院大学総合研究所 都市減災研究センター成果報告書 テーマ 3