

# 停電時における EV 配車シミュレータの設計

2011SE072 今枝雅貴 2011SE165 宮下健志 2011SE166 宮浦孝広

指導教員：蜂巢吉成

## 1 はじめに

現在, EV が移動可能な非常電源として注目されており, 生産台数, 販売台数共に増加している. 本研究での施設は電力を消費して稼働している建物とし, 停電時の施設への電力供給方法の 1 つとして, EV の電力を施設へ供給する方法 [1], [2], [3] が考えられている. これらは EV の電力供給で施設が稼働できるかを取り上げており, 施設が EV を所有している場合のものである.

本研究では, 停電時, EV による電力供給の対象である施設を, 医療・福祉施設, 食料品取扱施設, 避難所, 役所とし, それらの施設へ町中の人々が所有している EV を配車, EV から施設へ電力を供給し, 停電を解消する方法を取り上げる. しかし, この方法において, どのような町, EV の普及率, 配車アルゴリズムならば, EV による電力供給によって施設の停電が解消できるのかが予想できない. したがって, 施設の停電を解消するように EV を停電中の施設へ配車するときの施設への供給率が EV の普及率によってどのように変化するかを理解する必要があると考えた. 本研究での供給率は電力を必要としている施設に対して EV が供給している割合とする. 停電時に EV を停電中の施設へ配車するシミュレーションを行うことで, 施設への供給率が EV の普及率によってどのように変化するかを知ることが出来ると考え, シミュレータを作成する. また, 町の情報, 配車アルゴリズムを変更出来るシミュレータを設計することで様々な町, 配車アルゴリズムでのシミュレーションを行うことが出来ると考え, それらを変更する事が出来るシミュレータの設計を考察する.

## 2 関連研究

町内の車両や歩行者の動作についてのシミュレーションはいくつか研究がされている.

[4] では歩行者シミュレータに道路閉塞, 建物倒壊などの災害データを与えることによって避難シミュレーションを行っている.

[5] ではシミュレーション開始時, 町の車両に交通行動調査などの情報を基に始点と終点を与え移動させることで交通シミュレーションを行っている.

[6] ではタクシーを時間帯ごとに地域へ分配し, 顧客の待ち時間を短くする方法を考察している. タクシーに交通行動調査などの情報を基に始点と終点を与え移動させることで交通シミュレーションを行っている.

[4], [5] の研究では歩行者や車両がある環境下においてどのような動作をするのかを知ることが出来る. しかし, その歩行者や車両に対してアクションを起こし, 問題を解決することはしていない. 本研究では, 町で動作してい

る EV に対して要請というアクションを行うことによって EV を停電している施設へ配車し, 停電を解消する場合を取り上げる.

[6] の研究ではタクシーを顧客の需要に合わせて配車し, 顧客の待ち時間を減らす方法を考察している. しかし, 需要に合わせて車両を予め配車できる場合には有効だが, 本研究では停電に合わせて予め EV を施設の近くへ配車することは出来ない.

## 3 シミュレーションモデル

### 3.1 シミュレーションの必要性

発電所からの電力供給が停止し, 停電した施設へ EV を配車する場合において, 施設への供給率が EV の普及率によってどのように変化するかを確認したい. しかし, 実際の町でその変化を確認することは難しい. したがって, シミュレータを作成し, シミュレーションを行うことで様々な町, 配車アルゴリズムでの変化を確認できると考える.

### 3.2 シミュレーションのシナリオ

発電所からの電力供給が停止し, 停電した施設へ EV を配車する場合において, 施設への供給率が EV の普及率によってどのように変化するかを確認したいので, 町で停電が発生した時をシミュレーション開始とし, シミュレーション開始から数時間でシミュレーション終了とした. 本研究での停電は発電所からの電力供給が停止した場合を想定しているので, 町の中にある全施設が停電する. シミュレーション終了まで町内に存在している EV を停電している施設へ配車し, 施設へ電力供給を行い, 停電を解消する. また, 町内の信号機には非常用電源があり, 停電時にも通常通り稼働するものとする.

### 3.3 集中制御と分散制御

集中制御とは, 町に EV の配車を制御する制御施設が存在し, 制御施設がどの施設への EV を配車するのかを決定し, 要請を行う制御方法である. また, 分散制御とは, 集中制御のような制御施設は存在せず, 各施設がどの EV を自施設へ配車するかを決定し, 要請を行う制御方法である. 集中制御の場合は町の中にある施設と EV の情報を見ているので, 供給を行う EV の決定と供給を受ける施設の決定を行うことができる. しかし, 分散制御では町の中にある EV の情報を見ているが, 自分以外の施設の情報は見ることが出来ず, 供給を行う EV の決定しか出来ない. このことから分散制御の場合は集中制御と違い, 優先度の高い施設からの要請が来たとしてもその施設へ供給されない場合があると考えられる.

### 3.4 町のモデル化

シミュレーションの要素を以下のようにモデル化した。

- 町
  - 道路，ガソリン自動車，EV，制御施設，施設を取りまとめる存在．朝・昼・夕方・深夜の4つの時間帯パターンを持つ
- 道路
  - ガソリン自動車とEVの移動速度を変動させる重みを持ち，道路の車線数を重みで表現している．交差点を座標とし施設，ガソリン自動車，EVの位置を表す存在であり，交差点の自動車数が上限値に達すると渋滞となる．交差点を繋ぐ道は町に格子状に存在
- ガソリン自動車
  - 渋滞に影響を与える存在．目的地と現在地を座標として持ち，その目的地へ向かって移動する．移動には5つの行動パターンがあり，時間帯によって5つの割合が変化
- EV
  - 渋滞に影響を与え，施設へ電力を供給する存在．目的地と現在地を座標として持ち，その目的地へ向かって移動する．移動にはガソリン自動車と同じ5つの行動パターンがあり，時間帯によって5つの割合が変化．移動の際に自身のバッテリーを消費する．集中制御の場合は制御施設，分散制御の場合は施設から要請を受け，承諾した場合は施設へ移動し電力を供給する
- 制御施設
  - 集中制御の場合に存在し，要請を行うEVの決定と供給を行う施設の決定を行う．町内の全施設の情報と全EVの情報を見ている
- 施設
  - 位置として座標を持つ．停電し，EVによる電力供給を受ける存在であり，分散制御の場合は要請を行うEVの決定を行う．施設の電力供給の必要性を優先度として表現し，必要性が高いほど，優先度が高い．分散制御では，町内の全EVの情報を見ている

## 4 シミュレータの設計

### 4.1 道路

ガソリン自動車とEVが移動にかかる時間は道路の重みによって決定される．道路がどのように重みの情報を持つべきかを考察する．モデルとなる町をグラフで表現した時の重みの情報の持ち方として以下の方法が考えられる．

- 隣接行列を用いる方法  
町の道路の重みを隣接行列を用いて表すことができ

る．交差点  $v$  から交差点  $w$  への重みを行列の  $(v, w)$  成分に割り当てることによって交差点間の重みを表現する．

- 隣接リストを用いる方法  
町の道路の重みを隣接行列を用いて表すことができる．交差点  $v$  から交差点  $w$  への重みと行き先を  $v$  のリストに追加することによって交差点間の重みを表現する．
- 重みを返すメソッド内に町の道路の重みを記述する方法  
重みを返すメソッド内に直接町の道路の重みを記述することにより実装する．

### 4.2 マルチスレッド

ガソリン自動車やEV，施設等は現実ではそれぞれ独立して動いている．シングルスレッドなプログラムでシミュレータを作成した場合，これらの動きを何かが管理や指示する設計となり，現実の動きとは違うものとなる．したがって，シミュレータをマルチスレッドなプログラムで作成し，これらの独立した動きをすべき要素にスレッドを割り当て，並列に動かすことによって現実の動きにより近い設計となるようにした．

### 4.3 EVの監視

集中制御の場合は制御施設が，分散制御の場合は各施設が要請するEVの決定，EVに対しての要請を行う．これらの動作にEVの情報をを用いる必要があるので，一定時間ごとにEVの情報を監視している設計にした．

### 4.4 優先度の動的変化

施設の持つ発電装置で対処出来なくなったときなどに，施設の優先度を上げることが考えられ，優先度を動的に変化させるメソッドを設計した．

### 4.5 時間帯

時間帯によってガソリン自動車とEVの振舞いに違いが出ると考え，自動車の初期位置になりやすい座標，目的地になりやすい座標，5つある行動パターンの割合を変化させることで時間帯ごとの自動車の行動設定を行った．また時間帯を任意に変更できるように設計した．

### 4.6 アルゴリズム

シミュレータ内で用いるアルゴリズムの中で以下のアルゴリズムを可変な設計にする必要があると考える．

- EVの供給要請に対する返答アルゴリズム
  - 50%の確率で要請を承諾する
- 集中制御の場合の制御施設による供給施設決定アルゴリズム
  - 優先度の高い施設からEVを配車
- 集中制御の場合は制御施設，分散制御の場合は施設に

## よる供給要請対象決定アルゴリズム

- 1番施設に近いEVを要請

### • 分散制御の場合の、施設が要請を行うか判断するアルゴリズム

- 優先度が低いほど、要請を行うと判断する頻度が少ない

上記のアルゴリズムを Strategy パターンを利用して実装した。差し替えたい部分を抽象メソッドとして定義したクラスを親クラスに持ち抽象メソッドを具体的に実装したクラスを作成する。この親クラスのインスタンスを保持し、差し替えたい時に具体的な処理を実装したクラスを委譲することでアルゴリズムの差し替えが可能となり、容易なアルゴリズムの差し替えを実現したと言える。

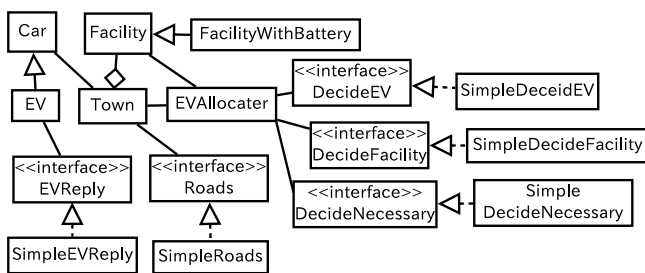


図1 クラス図

## 4.7 集中制御と分散制御

集中制御と分散制御では施設と制御施設の振舞いが変わる。集中制御の場合、施設は何もしないが、分散制御の場合は施設自身が電力を必要としているかを判断し、要請を行うEVの決定、EVへの要請を行う。また、制御施設に関しても、集中制御では、供給する施設の決定、要請を行うEVの決定、EVへの要請を行うが、分散制御では制御施設が存在しない。このような制御方法の違いから要素の振る舞いが切り替えられるような設計をした。

## 5 実験・検証

設計したシミュレータを実装し、実験・検証を行う。

### 5.1 実験

以下のような条件のシミュレーションを集中制御、分散制御の2つの制御方法で時間帯、EVの普及率を変化させて行う。各制御方法で、普及率を変化させた場合にどのような違いが出るか、また制御方法によってどのような違いが出るかを検証する。

町モデルとして愛知県名古屋市昭和区を参考に道路と施設の座標を設定し、町全体の自動車の数を2000台とした。また、施設の優先度は区役所・避難所・介護施設を3、スーパーマーケットを2、発電装置を持っている病院を1とした。集中制御の場合は制御施設、分散制御の場合は各施設が配車する施設に1番近いEVへ要請を行う。要請を受け

たEVは目的地へ行く途中に供給を受ける施設があるならば、50%の確率で要請に対して承諾する。

### • シミュレーションの流れ

#### - 停電開始

- \* 全ての施設が停電し、EVによる電力供給を必要とする。停電した施設にEVを配車する
- \* EVは設定された行動パターンで移動、要請を受けたら返答し、承諾ならば供給する施設へ移動し供給を行う

#### - 停電から90分後、病院の優先度が3に変わる

#### - 停電から120分後、シミュレーション終了

### 5.1.1 集中制御での実験・検証

制御施設の供給施設決定アルゴリズムは、優先度の高い施設へ優先的にEVを配車するアルゴリズムを用いる。実験前の予想として、優先度の高い施設ほど供給率が高くなり、EVの普及率が高いほど供給率の高い時間が長くなると考えた。

EVの普及率を5%と設定したとき、優先度3以外の施設への供給率が低くなった。これは供給施設決定アルゴリズムによる影響が出ていると考えられる。全ての時間帯で、停電開始時は多くの施設へ電力が供給されているが、時間が経過すると共にその割合が減少する傾向が確認出来た。EVの普及率を10%と設定したとき、優先度3の施設への供給率が普及率5%に比べ高く安定し、深夜以外では優先度1の施設にもEVが配車された。しかし、優先度3の施設の供給率が時間経過と共に下がっている傾向は緩和されたが、解消はしなかった。その点に関して、停電時間が長くなった場合にも優先度3の施設には多くEVを配車できるように、今回よりも優先度2,1の施設へ配車する基準を厳しくし、町内のEVの電力を温存するようなアルゴリズムが有効だと考えられる。

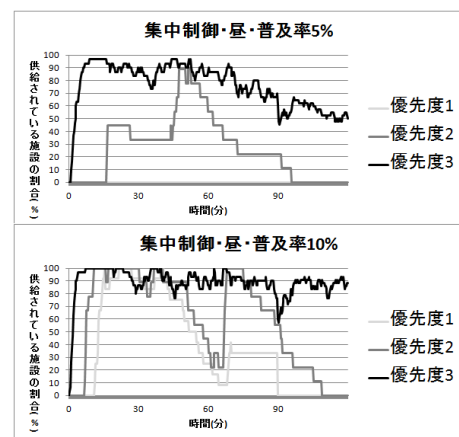


図2 集中制御・昼での普及率比較

### 5.1.2 分散制御での実験・検証

施設は停電しているとき電力を必要と判断するアルゴリズムを用いる。実験前の予想として、優先度による施設へ

の供給率に大きな違いはなく、EV の普及率が高いほど供給率の高い時間が長くなると考えた。

EV の普及率を 5% と設定したとき、全ての時間帯で、停電開始時は全ての優先度の施設への供給率が同じような推移をしている。EV の普及率を 10% と設定したとき、普及率が 5% のときに比べ、時間経過後の供給率が大きく増加した。しかし、優先度を考慮していないことから、優先度 3 の施設であっても低い供給率になる時間が発生していた。分散制御では施設が他の施設の情報を見ることが出来ないことからこのような結果になったと考えられるが、施設の優先度で要請の頻度を変え、優先度が高い施設には EV が配車されやすくすることにより、優先度の低い施設によって EV の電力が消費されることが減少し、優先度の高い施設の供給率が高くなると考えられる。

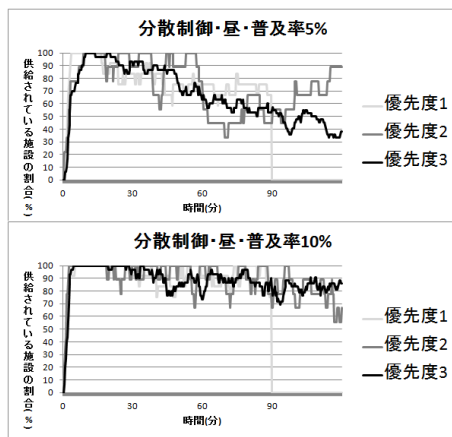


図 3 分散制御・昼での普及率比較

## 6 考察

### 6.1 自動車台数・施設数の制限

今回のシミュレータはマルチスレッドプログラミングで開発しており、全ての自動車と施設に 1 スレッドずつスレッドを割り当てている。作成可能なスレッド数は OS によって定められており、実行環境によって自動車台数と施設数の上限が変動してしまうので、同じ町モデルにおけるシミュレーションを異なる実行環境で行うことができない場合が存在する。これを解決する目的でスレッド数に予め上限を設け作成したスレッドを使いまわすなど工夫の必要があると考えられる。

### 6.2 EV の要請方法の変更

今回のシミュレータでは、電力供給を承諾する EV が現れるまで、施設は EV 1 台ずつに要請を行い、EV からの返答を待つ。EV は要請に対して承諾を返答した場合、直ちに施設へ移動を開始する。

しかし、1 度に複数台の EV に対して同時に要請を行う方法も考えられる。その場合、施設は EV に対し、仮要請を行い、承諾を返答した EV の中から 1 台の EV を選択し、本要請を行う。選択しなかった EV には要請キャンセ

ルを通知する。仮要請を受け、承諾を返答した EV は、施設からの応答を待ち、応答が本要請ならば施設へ移動する。応答が要請キャンセル、もしくは一定の時間内に応答がなければ、これまで通りの目的地に移動する。また、EV が優先度の異なる複数の施設から要請を受けた場合は、一度承諾をした施設に対する承諾キャンセルなどの処理の追加も検討する必要がある。

これらの EV の要請における施設や EV の処理をそれぞれ状態遷移機械を用いて表し、これを State パターンを用いて実現することで、要請方法の変更に対するシミュレータの変更箇所を局所化できる。

## 7 おわりに

本研究では、停電時、発電所からの電力供給が復旧するまでの間、施設の停電を解消するように EV を施設へ配車するシミュレーションを行うシミュレータの設計について考察した。また、設計したシミュレータを実装し、実際の町をモデルとして集中制御、分散制御でシミュレーションを行い、EV がどの程度普及していれば、施設の停電がどの程度解消できるのかを実験し、考察した。マルチスレッドプログラミングを用いて、各自動車、施設へ 1 スレッドずつ割り当てたことにより、自動車台数、施設の数に制限が出来てしまう問題が今後の課題として考えられる。

## 参考文献

- [1] 日経テクノロジーオンライン, “奈良県大淀町の 3MW メガソーラー、災害時に EV を介して避難所に電力供給,” <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20140406/344600/>, 2014.
- [2] 大阪市役所, “大阪市 福島区 【報道発表資料】全国初！災害時に避難所となる学校の教室に電気自動車から電力供給ができるようになります!,” <http://www.city.osaka.lg.jp/hodoshiryo/fukushima/0000189596.html>, 2012.
- [3] 一般社団法人新エネルギー導入促進協議会, “スマートエネルギーシステム導入促進事業事例,” [http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/140221/140221\\_1.pdf](http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/140221/140221_1.pdf), 2014.
- [4] 山下倫央, 野田五十樹, “避難シミュレーションの実社会への応用”, 情報処理, Vol.55, No.6, pp.572-578, 2014.5.
- [5] 水田秀行, 牟田英正, 今道貴司, “都市計画のための交通シミュレーション”, 情報処理, Vol.55, No.6, pp.579-584, 2014.5.
- [6] 坂井教人, 繁野麻衣子, 塚本一也, “タクシー配車計画への OR 手法の適用事例”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, 2013, pp.224-225, 2013.3.