

領域分けによる武蔵野市充電設備の優先順位の決定

小柳 文子*¹, 岩田 景新*²

Decision of Priority Order of Recharger Installation in Musashino City by Domain Division

Fumiko KOYANAGI*¹, Keinii IWATA*²

ABSTRACT : From an uneasy social environment and the climate change, electric vehicles (EVs) are gaining attention as an important transportation system of the automotive society. The range, cost and life time limitations of battery are gradually being overcome. In the next stage of spread of EV, establishment of an appropriate EV infrastructure is expected. Although a commuter EV is recharged at home in general as for automakers plan, customers wish to recharge their EV at anytime for security. This study investigates an appropriate allocation of EV rechargers in Musashino city. We define the priority order among EV recharger candidates by comparing with a Voronoi diagram and the priority order circular diagram. Both diagrams are segmented by specific town information. The outcome of this approach will give a blueprint for implementing infrastructure to support electric transportation and will provide standards and guidelines to install the appropriate equipment for residential and other EV customers.

Keywords : Optimum Allocation, Recharger, Voronoi Diagram, Priority Order circular

(Received March 30, 2009)

1. はじめに

環境問題やエネルギー問題などにより、環境に優しい純電気自動車 PEV(Pure Electric Vehicle)に対する期待が寄せられている。最近の電気自動車はリチウムイオン電池の採用により、バッテリーの格段の性能向上を果たしている。そのことにより、これまでのイメージを刷新する力強いパワーや航続距離が達成され、自動車産業における電気自動車の開発が活発化している。電気自動車の本格的導入のためには、次なる段階として適切なインフラの構築が急務であると考えられている^{1),2)}。

最近の電気自動車は家庭での充電を主体として検討されているが、利用者の安心感のためには外出先での充電は必須とされている。一方で充電設備は価格が高価なこともあり、出来る限り計画的に配置することが望まれる。このことから本研究では、著者らの所属する大学のある武蔵野市について、今後必要とされる充電設備の適切な配置について検討した。なお充電設備については、ボロノイ図法および優先順位円図を用いて設置

の優先順位を決定した。本手法を用いることにより、今後の電動車両社会のインフラ構築の青写真となると共に、EV ユーザの設備導入上の適切なガイドラインや知見を与えるものと期待している。

2. 充電設備に求められる要件

先にも述べたように、現在開発が積極的に進められている電気自動車やプラグインハイブリッド自動車などの電気を利用する車両は、夜間に一般家庭で充電することを前提に考えられている。しかしながら、実際の利用者の立場にたてば、安心して電動車両を利用するためには充電インフラが必要不可欠である。この時充電設備として必要となるのが急速充電設備である。

東京電力などが開発した急速充電器(写真1)は、(充電対象を限定してはいるが)約15分で容量の80%まで充電が可能となり、実用上ほとんど問題のないレベルに達している。しかしながら設置コストは300万円程度と高価であり、普及拡大により価格の低減に期待が寄せられている。

*¹ : 物質生命理工学科助教(koyanagi@st.seikei.ac.jp)

*² : 平成20年度物質生命理工学科卒業生



写真 1 東京電力急速充電設備と EV³⁾

一方、カリフォルニア州は米国でも電気自動車を強く推進している地区として認知されている。図 1 には、現在のカルフォルニア州充電インフラの整備状況を示す。2008 年 11 月にはカルフォルニア州およびサンフランシスコ、サンノゼ、オークランドの各市長らの協力により大規模な電気自動車と充電スタンド網の開発計画が発表されている。しかしながら最近の経済危機により、カリフォルニア州は財政破綻の状態にある。このような状況下にあって改めてこの配置を見てみると、現在の EV の普及状態からは適切な配置であるのかは疑問である。日本においても近年、ガソリンスタンドの閉鎖が相次いでおり、高価な設備の過剰配置は避けなければならない。

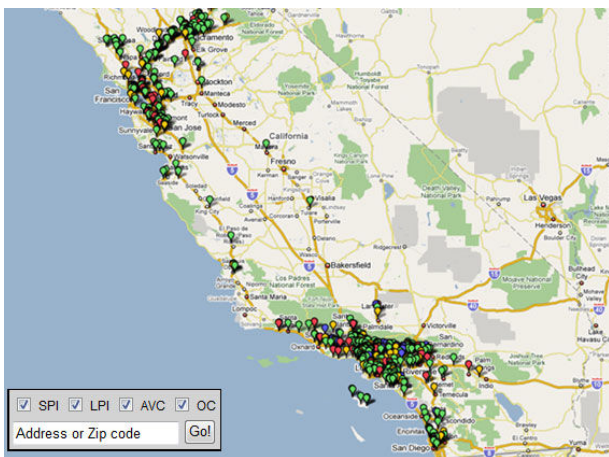


図 1 カリフォルニア州の充電インフラ整備状況⁴⁾

3. 補充電設備設置手法

補充電設備を対象区域に設置する場合、その設備が高価であればあるほど綿密な計画によって無駄な投資を回避する必要がある。設置にあたっては、場所の選定に十分な便益が見込まれることや、優先順位を検討するなど

の処置が必要であろう。本研究ではこのような諸要件を満たす設置候補地選定について、ボロノイ図法および優先順位円図を用いて検討した。以下にそれぞれの手法に付いての詳細を述べる。

3. 1 ボロノイ図を用いた均等配置

ボロノイ図は、設備の均等配置にしばしば用いられる位相幾何学的手法である。平面上でいくつかの母点が配置されているとき、他の領域より近い境界によって分割されてできる図である。従って母点を施設と考えれば、領域内の利用者にとって他のいかなる母点（施設）よりも直線距離では近傍となる。以下に簡単な原理と補充電設備候補地に適用する手法について概説する。

3. 1. 1 ボロノイ図⁵⁾

平面上に n 個の点の集合 $P=\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ があるとし、任意の点を p する。この p 点からある点 p_i までのユークリッド距離を $d(p, p_i)$ とする。このときに点 p から点 p_i までのユークリッド距離が他点 $p_1, \dots, p_{i-1}, p_{i+1}, \dots, p_n$ までの距離より短いことを表す式は式(3.1)のようになる。

$$d(p, p_i) \leq d(p, p_j), j \neq i, j = 1, 2, \dots, n \quad \dots (3.1)$$

式(3.1)をみたす点の集合 $V(p_i)$ を表す式は式 3.2 のようになる。

$$V(p_i) = \{p \mid d(p, p_i) \leq d(p, p_j), j \neq i, j = 1, 2, \dots, n\} \quad \dots (3.2)$$

(3.2) 式で表した集合 $V(p_i)$ で示される領域をボロノイ領域と呼び、図 2 の着色した領域を表す。また、 p_i をボロノイ領域の母点、領域の境をボロノイ境界、ボロノイ境界が交わる点をボロノイ点と呼ぶ。

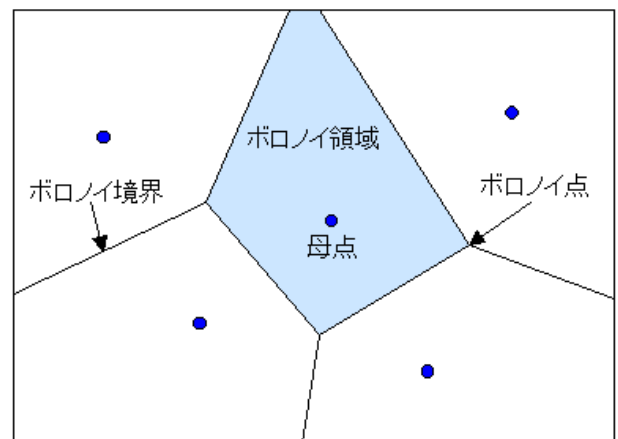


図 2 ボロノイ図

3. 1. 2 補充電器の設置候補地選定

ボロノイ図を用いて補充電設備の均等配置図を作成するために、まず母点となる設置候補地を定めた。候補地は端的にはスタンドを思い浮かべるが、ここでは以下の条件を満たすものと定義し、武蔵野市の実踏調査を行い候補地を選定した。

候補地選定条件として次のような条件を前提とした。

- ・補充電器は商業施設などの既存の施設に設置すること
 - ・駐車場を少なくとも2台以上保有していること
- この結果、総候補地数は33ヶ所であり、総駐車可能台数は2,406台となった。

この候補地を母点としたボロノイ図を図3に示す。

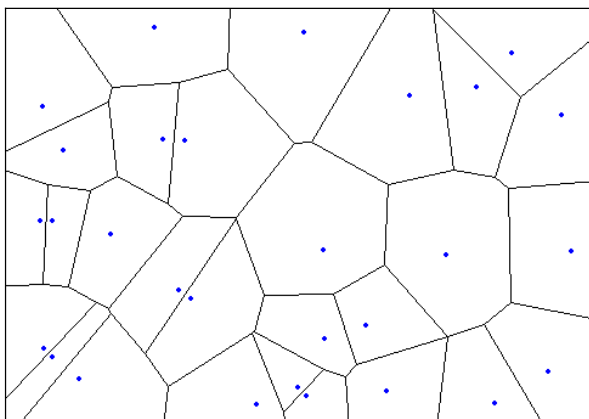


図3 設置候補地のボロノイ図(武蔵野市)

3. 2 優先順位円図を用いた配置による解析

ボロノイ図を用いた均等配置では、補充電設備の設置について合理的な利便性を想定することは可能に思われる。しかしながらこれらの設備が必ずしも電気自動車の普及状況と対応していない場合は、過剰投資ないしは計画倒れになる危険性がある。そこで、補充電設備を機能的、合理的に設置することを前提とするだけでなく、利便性の高い箇所から重点的に逐次配置することを考えた。

ここではこの優先順位を、①電気自動車のユーザが利用する施設の近傍であること、②駅などの公共交通拠点に近いこと、③主要道路に近いこと、④進入口を2方向以上確保できることについて重み付け要素とした。この4項目から各候補地に対して評価を行い、その結果を基に重要度別に径に対して重み付けを行った。この優先順位円を用いたプログラム作成し、武蔵野市の地図上に円を描いた。完成した円の領域が互いに重なっている部分に着目し、重なっている度数別に領域の分析を行った。最も重複している領域を最高順位高とし、設置順位を求めた。

3. 2. 1 重み付け法

地図上の各候補地に対して、重要度別の径を持つ円を描いた。この円の径は以下に見るような条件下で評価し、重要度が増すほど円の径を段階的に狭めることで設置箇所を特定するものとした。

W_1 : 駅などの公共交通拠点に近い

JR 三鷹駅、JR 武蔵境駅にそれぞれ最も近い候補地を対象とし、JR 吉祥寺駅付近においては密集する候補地からアンケート調査により対象を抽出した。

W_2 : 主要道路に近い

井の頭通り・五日市街道・新青梅街道・伏見通りのいずれかに沿って候補地がある場合を対象とした。

W_3 : 進入口を2方向以上確保できる

駐車場への進入口が2方向以上確保できている候補地を対象とした。

W_4 : 施設の近傍である

ショッピング目的の店舗であり、かつ周囲に他の施設が密集していない候補地を対象とした。

以上のことより次式を用いて重み付けを行った。

$$R_n = (W_{\max} - \sum_{i=1}^4 W_i) * r \quad \cdots (3.3)$$

但し、 $R \leq 2\text{km}$

R : 円の径 (m), n : 母点番号, r : 200m

W_i : 各項目評価重み (0~2 : 主要箇所は2とする)

$W_{\max}$: 最大重み項目数

4. 結 果

4. 1 ボロノイ図を用いた均等配置

ここでは、ボロノイ図を以下のようなアルゴリズムを用いて^{5),6)}作成している。

- ① 全ての母点に対して垂直二等分線を引く。
- ② そのうちの1本の垂直二等分線に着目する。
※その垂直二等分線は、他の垂直二等分線と交わっている。これにより、いくつかの線分に分けられる。
- ③ この全ての線分について、線分内の点と各母点までのユークリッド距離を求める。
- ④ この線分を生成した点が、各母点までのユークリッド距離と比べて、1,2番(厳密には両方とも最短)になったならば、その線分を描く。
- ⑤ 各候補地を母点データとし、ボロノイ図を作成する。

以上の手法よりボロノイ図を用いてアプレットを作成し、武蔵野市における補充電器の設置候補地の均等配

置を行った。なおプログラムには java を用い、武蔵野市の Google 地図画像上に選定された設置候補地の位置情報を合わせてボロノイ図を表示した。またこのボロノイ図より、ボロノイ領域の各面積を求め、最大・最小となる候補地並びに平均値を求めた。

なお、使用したアップレットへの座標変換は地図の縮尺が 1/7000 地図上として行い、武蔵野市の東西距離を 6.5km、南北距離を 3.1km と定義している。またアップレット上では 1671 dots×762 dots で取り扱っている。以上により求めた武蔵野市の補充電設備の均等配置結果を、図 4 に示す。

この結果、各ボロノイ領域と武蔵野市の重複領域の面積から、面積最大と最小の候補地および、その平均値を求めた。これを表 1 に示す。最大のボロノイ領域を持つ候補地は、いなげや（武蔵野桜堤店）近傍であり、他の補充電設備から最も離れ利便性に問題がある。逆に、最小のボロノイ領域を持つ候補地は伊勢丹デパート近傍となり、利便性が高い。しかしながらボロノイ領域が狭いということは、この地域に候補地の集中が見られることを示している。このままでは市内全体としての配置バランスを考えた際に、必ずしも効率が良い配置とはいえないであろう。

表 1 ボロノイ領域の面積の最大値と最小値と平均値

ボロノイ領域(±1,450m ²)		候補地名
最大面積	830,000	いなげや（武蔵野桜堤店）
最小面積	26,000	伊勢丹デパート
平均	362,000	

4. 2 優先順位円図を用いた配置

3.2 で述べたように、均等配置の問題を解決するために、ここでは優先順位円図を用いた配置結果について述べる。各候補地に対し(3.3)式により加重円 R を求め、アップレットを作成し地図上に描画した（図 5）。その後完成した円の領域に着目し、度数別に表 2 に示す色分けを行った。

表 2 色分け表

色	0, 1	2	3	4	5	6	7	8
数	無	黄	青	緑	桃	橙	紫	赤

この結果、吉祥寺駅近傍・武蔵野市役所近傍、武蔵境駅近傍の 3 ヶ所に領域の集中が見られた（図 6）。これより、特定の 3 ヶ所において最重要度設置候補があることが分かった。このことから、指定された最大領域の中から最も近い候補地を求め、優先順位を次のように決定した。

- 1：丸井デパート
- 2：京王ストアー（むさしの店）
- 3：ヨーカ堂（武蔵境店）

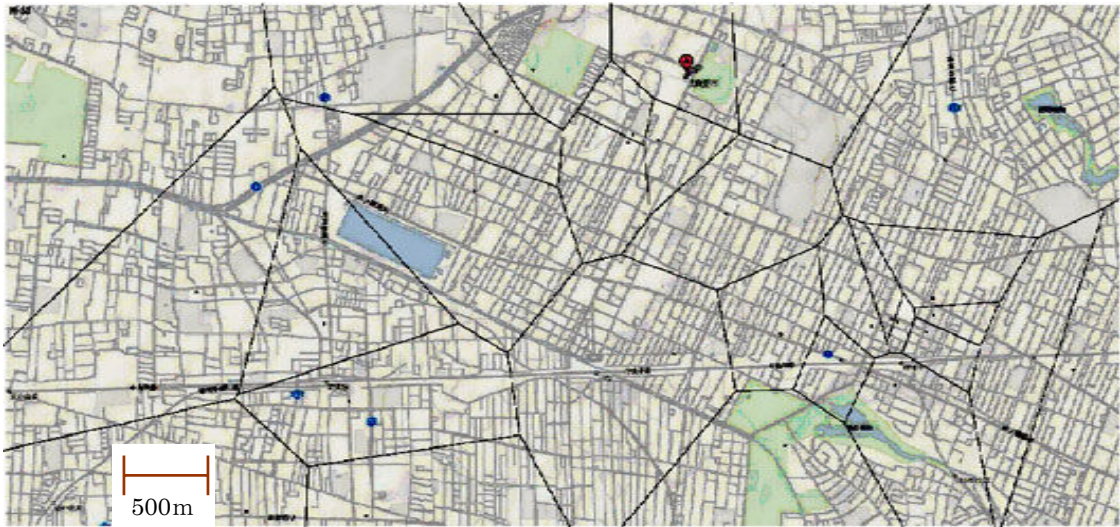


図 4 ボロノイ図による均等配置

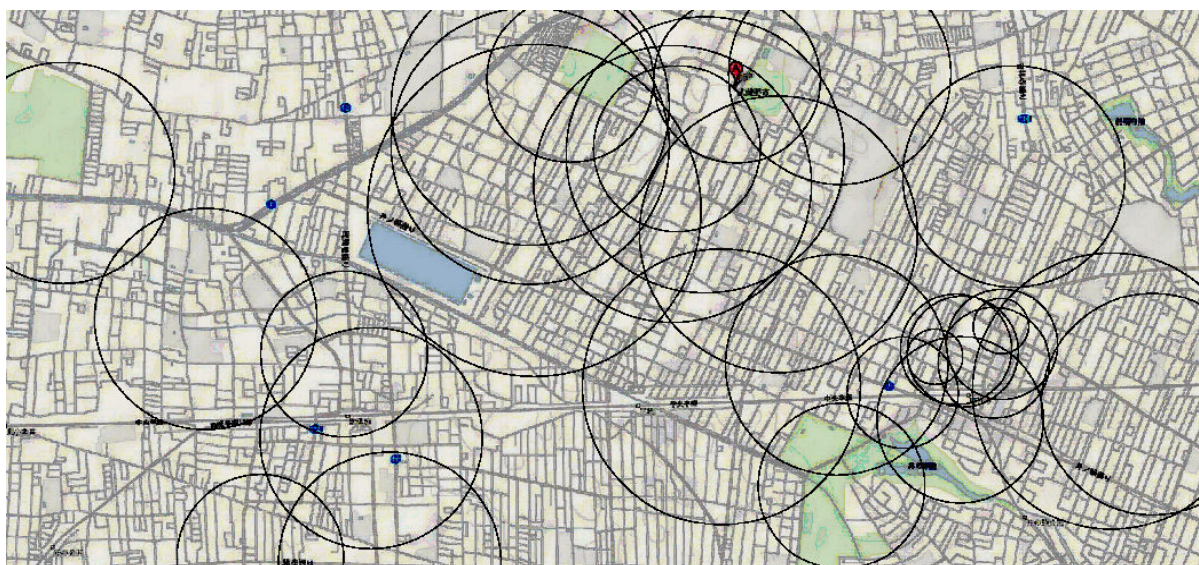


図5 優先順位円図による候補地の評価

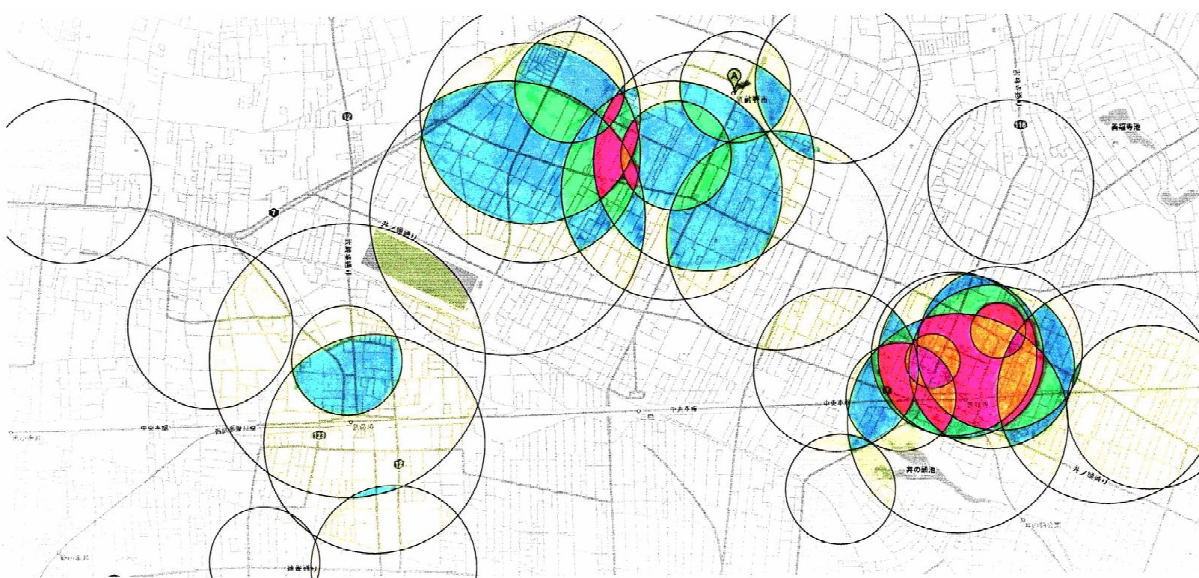


図6 優先順位円図による候補地の優先度表示

4. 3 優先順位を母点としたボロノイ図の作成

優先順位が1位となった「丸井デパート」、2位の「京王ストアー（武蔵野店）」および、3位の「ヨーカ堂（武蔵境店）」を母点としたボロノイ図を作成した。この結果を図7に示す。優先順位1～3位に設置した場合のボロノイ図から、ボロノイ領域と重複領域の面積を求めた。この結果を次の表3に示す。この表から見て分かるように武蔵境近傍では利用者領域が最も広くなり、京王ストアーを近傍とする市役所近傍では2km範囲内の移動で補充電が可能となり、利便性はほとんど問題がないと思わ

れる。設備は多いに越したことはないが、武蔵野市の補充電設備の初期配置としては、表3の3ヶ所で十分に対応できると考える。

表3 優先順位1～3位に設置した場合の領域

候補地名	ボロノイ領域（±1,450m ² ）
丸井デパート	3,653,000
京王ストアー	2,394,000
ヨーカ堂	4,187,000

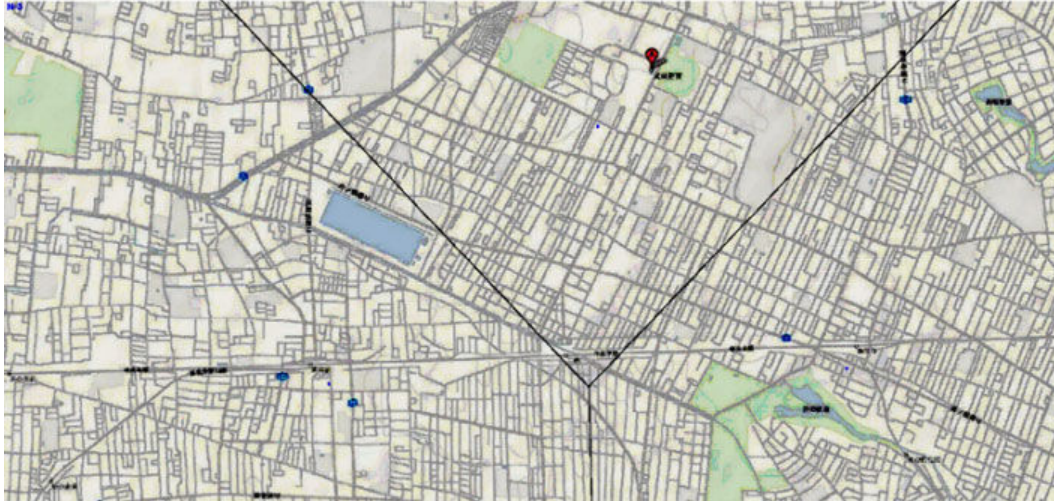


図7 優先順位1～3位を母点としたボロノイ図

5. まとめ

本研究では、武蔵野市において電気自動車のための補充電設備の設置候補地を、ボロノイ図を用いて均等配置により求めた。また優先順位円図により、これら候補地の設置優先順位を示した。ボロノイ図の均等配置の結果から、吉祥寺駅周辺での候補地の集中がみられた。また、優先順位円図の重み付けから得られた優先順位は、それぞれ1位が「丸井デパート」近傍、2位が「京王ストア（武蔵野店）」近傍および、3位は「ヨーカ堂（武蔵境店）」近傍の順となった。本手法により、今後補充電設備の設置が期待される武蔵野市での候補地、並びに優先順位を示すことができた。

なお、今後の補充電設備の設置について本手法により、武蔵野市に限らず他の地域にも応用が可能である。また、候補地を増やすことや対象地域を広げて行うことにより、本研究の結論と異なった結果を導くこともできると考える。更に、同じ候補地であっても、対象を変えた重み付けを行うことで異なった結果を導くことができる。

今後の課題として、次の二点が上げられるだろう。一つは、電力設備としての十分な検討が行われていないことである。補充電設備のスペックや必要とされる電力量、並びに設備の管理等については、今後十分に検討しなければならない。

もう一つは地域の発展による候補地の変化である。本研究では、既存の商業施設に補充電器を設置することを想定している。このことより、時間の経過と共に設置候補地（母点）の位置に变化がおり、結果が変化すると考えられる。この点を更に配慮をしていくべきだろう。

6. 結 論

本研究では電気自動車のための補充電設備を、既存の商業施設に配置することを考え、ボロノイ図を用いた均等配置を行った。また、現在ではインフラ設備が整っていないことから、より効率的な配置を進めていくため、候補地に優先順位を付けての配置の決定を試みた。

このことから4つの評価視点から優先順位円を用いた配置を考え、領域分けから見た設置候補地3ヶ所を決定した。

- 1：丸井デパート
- 2：京王ストア（むさしの店）
- 3：ヨーカ堂（武蔵境店）

この3ヶ所に補充電設備を配置することで、周囲とのバランスが取れた配置を計画実現できたと考える。

参考文献

- 1) 小柳文字, 瓜生芳久: “重み付きボロノイによる電気自動車充電設備の適正配置の検討”, 電気学会論文誌, B分冊, Vol. 119-B, No.12, pp.1412-1419, 1999
- 2) 資源エネルギー庁, エネルギー白書, 2007, <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2007energyhtml/index2007.htm>
- 3) 東京電力: “業務用電気自動車と急速充電器の開発”, http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu06_j/images/061120a.pdf
- 4) カリフォルニア州の充電施設マップの URL “EV Charger Maps”: <http://www.evchargermaps.com/>
- 5) 岡部篤行・鈴木敦夫, 「最適配置の数理」, 2000, 朝倉書店
- 6) 大山崇, ホームページ <http://www.nirarebakun.com/>