

D部門大会 シンポジウム@長崎大学

S9: 移動体エネルギーストレージとパワーサプライシステム
～自動車, 電力, 鉄道分野での応用展開とブレークスルー技術～

『走行中ワイヤレス給電と スマートグリッドの融合による 未来ビジョン』 より抜粋

東京理科大学
理工学部
電気電子情報工学科

居村岳広
2019.8.21
13:20～13:50

本日の内容

■前半：走行中ワイヤレス給電のメリット

- ① EV化の流れ
- ② 大量の大容量電池の道
- ③ 走行中ワイヤレス給電の道 ～大量の電池生産からの脱却～
- ④ 走行中ワイヤレス給電の技術
- ⑤ コスト比較（電池と走行中ワイヤレス給電）

■後半：走行中ワイヤレス給電がもたらす未来社会

- ⑥ 走行中給電とスマートグリッド（PV大量導入）
- ⑦ 走行中給電と太陽光発電（オフグリッド）
- ⑧ 準走行中給電
- ⑨ 走行中給電と自動運転と都市計画

① EV化の流れ

COP21において世界の気温上昇を2°C未満に抑えることが決定。

2015年11月@パリ（産業革命前との比較）

■EUの動き

CO2排出量規制：

95g/km@2021年（2年後）

60g/km@2030年（11年後，現状のハイブリッド車で実現不可）



EV化が避けられない



EVの大量普及後の未来社会を考える必要がある

※究極的には、PV等のクリーンエネルギーを使えばCO2排出量を0g/kmまで減らせるEV化の流れは良い流れといえる。

① EV化の流れ

EVの大量普及後の未来社会



2つの未来がある



大容量の電池搭載を
目指すEV社会

現在の主流



必要最小限の電池搭載
+DWPTの社会
+PV（後述）

提案するスマートな未来像



② 大量の大容量電池の道

現状の世の中の動き：

大量の電池を積むEVの流れ

⇒大容量蓄電池の研究開発

本当にそれで良いのか？（良ければ、それでOKだが・・・）

メリット：業界を超えない数社の連携で実現できる

デメリット：社会全体のコスト高（後述）

EVが順調に普及後：

保有台数シェア10%, 20%, 30%・・・と増えた未来に起こること

課題A サービスエリア飽和問題

課題B リチウムの生産問題（電池生産用）

課題C コバルトの生産問題（電池生産用）

課題D 社会全体としての高コスト問題

⇒コスト比較の所で説明

Li



世界最大のリチウム埋蔵量を有すると推定されているボリビアのウユニ塩湖
(画像出典：Wikipedia)

Li

Co

Co



コバルトブルー

www.pse-mendelejew.de

② 課題A サービスエリア飽和问题 ～大容量電池開発のEV～

高速道路で都市間移動を行う場合は、サービスエリアで急速充電が必須

普及率が10%になった場合の試算：

常時30～60台が急速充電50kw $\times$ 30～60台 = 1.5MW～3MWという状況になる。

電力容量問題と、普通に駐車するスペースを充電スペースに使用する
スペース問題の2つが生じる。

⇒ 将来課題としては軽視されている。

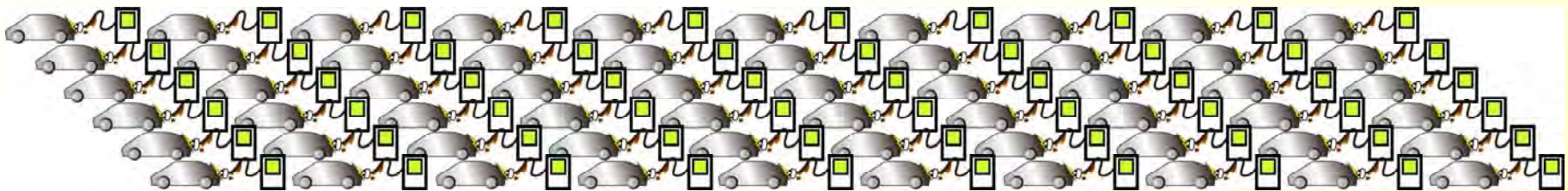


Fig. 大量のEVの常時MW級急速充電@SA

② 課題B,C 資源の生産スピード問題 ～大容量電池開発のEV～

リチウムとコバルトの埋蔵量が足りない問題は恐らくない
一方・・・

年間生産量として、EVが大量に普及した場合、
計画的に生産を行えば、リチウムやコバルトは問題なく生産できるか。
⇒否

リチウムの年間生産量には遙かに及ばない。
⇒EV普及に合わせて、年間生産量を増やせるか。
⇒現状では不可能⇒将来は？⇒精度の高い検証が必要。

Li



世界最大のリチウム埋蔵量を有すると推定
されているボリビアのウユニ塩湖
(画像出典：Wikipedia)

コバルトの年間生産量には遙かに及ばない。
⇒コバルトメインの生産は出来るか
⇒否

Co



www.pse-mendelejew.de

⇒銅や亜鉛！？の副産物として得られるコバルトは将来にわたって生産量を増やす手立てがない⇒精度の高い検証が必要。

③ 走行中ワイヤレス給電の道

走行中ワイヤレス給電

課題A（サービスエリア飽和問題）、課題B（リチウム生産問題）、課題C（コバルト生産問題）、D（社会全体の高コスト化問題）を解決できる。

走行中ワイヤレス給電のメリット（メイン）：

- ・ 1回の充電での走行距離（一充電走行距離）を延ばすことが出来る。
 - ・ 走行しながら充電できるので、サービスエリアでの急速充電不要
 - ・ 搭載する電池容量を（例えば1/6以下に）減らす事が出来る。
⇒電池依存とは違う未来を目指せる。

走行中ワイヤレス給電のメリット（融合）：

- ・ クリーンエネルギーとの連携により更なるメリット（後述）
- ・ 分散化電源が利用可能（後述）。
- ・ 社会システムとして低コスト（後述）

④走行中ワイヤレス給電の技術 ～課題～

停車中ワイヤレス給電

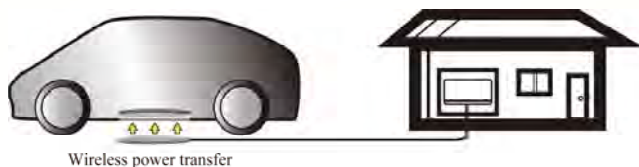
■課題

互換性と金属異物検出の問題が未解決
(解決済みと勘違いされることも多い)



他社との互換性を担保しない、プライベートユース前提の規格化を許容する話へと変化している。

SAE, IEC, ISOなどは2020年規格化か？



走行中ワイヤレス給電 (DWPT)

■課題

- コイルの上を一瞬で過ぎ去るEVへの給電
 - DWPT用の地上側複数コイル連動電源ON, OFF
 - EV側の受電制御
 - 全体システム設計の最適化⇒地上側とEV側の独立かつ協調制御が必要
- 電力が停車中に比べ10倍以上
 - 発熱対策
 - 漏洩電磁波対策
- 停車中の課題はそのまま継続
 - 互換性と金属異物検出の課題
 - 高速走行のため難易度UP
 - 地上側からすると、車の有無による電氣的な環境変化が頻繁に起こるため難易度UP

※電池生産問題など多くの課題を解決できるDWPT

⇒ 一方で、走行中ワイヤレス給電の技術は黎明期

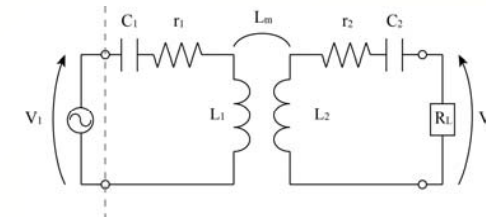
⇒ 技術を一本化するには時期尚早

④走行中ワイヤレス給電の技術 ～システムの全体像～

Coil type

Open type coil
(capacitor-less and ferrite-less)

S-S: series-series



Sensorless detection (primary)

detection

Power control by HAR (secondary)

control A type

Maximum efficiency tracking (secondary)

control B type

Simultaneous power and maximum efficiency tracking control (secondary)

control C type

Power off (primary)

power off

Automatic driving using coil sensing

④走行中ワイヤレス給電の技術 ～システムの全体像～

Coil type

Open type coil
(capacitor-less and ferrite-less)

S-S: series-series

Sensorless detection (primary)

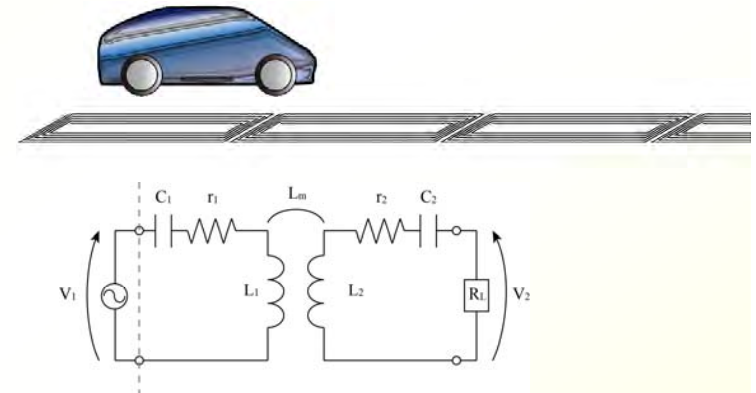
Power control by HAR (secondary)

Maximum efficiency tracking (secondary)

Simultaneous power and maximum
efficiency tracking control (secondary)

Power off (primary)

Automatic driving using coil sensing



detection

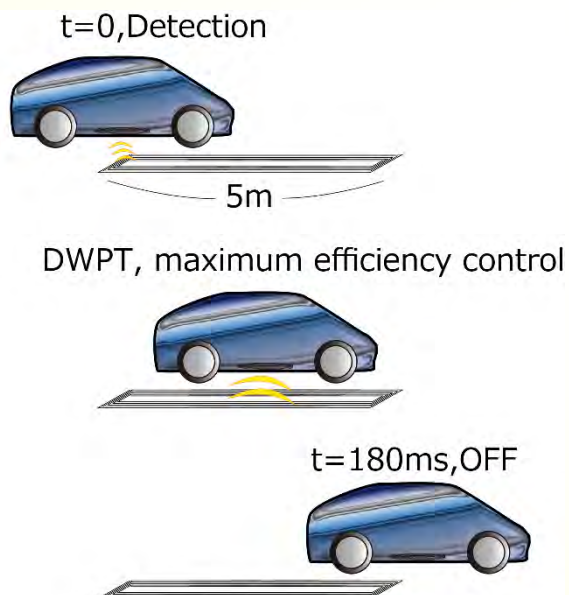
control A type

control B type

control C type

power off

④走行中ワイヤレス給電の技術 ～高速制御の必要性～



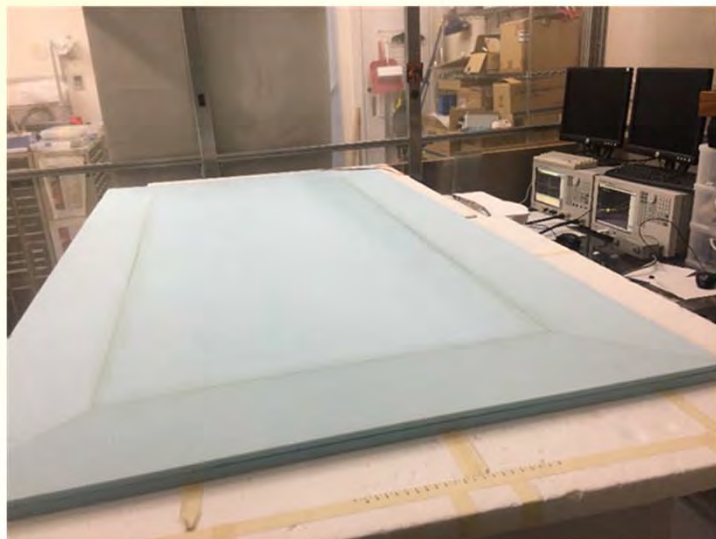
時速：100km/h
移動距離：27mm/ms
コイルサイズ：5m
通過時間：0.18 sec (180 ms)

非常に早い検出技術が必要

④走行中ワイヤレス給電の技術 ～コイル～

コンデンサレス&フェライトレスコイル
(オープンタイプ)

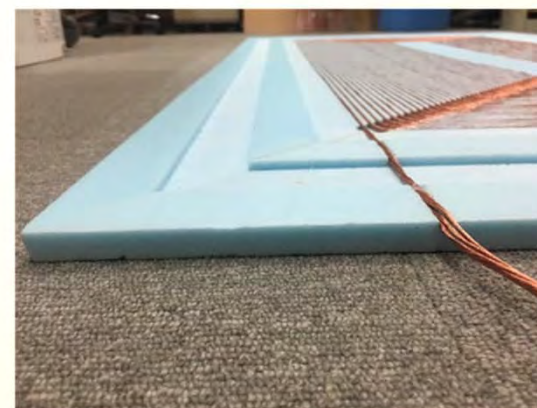
全体図



1層分



1層分の横図



④走行中ワイヤレス給電の技術 ～コイル～

コンデンサレス&フェライトレスコイル
(オープンタイプ)

1. Sub-base



2. Spreading of base course



3. Preparing formwork



4. Embedding coil



5. Laying RC mesh G-M (1)



6. Laying RC mesh G-M (2)



7. Rolling binder and surface course



8. Completion



コンデンサレス&フェライトレス

舗装工事の様子



コンデンサレス&フェライトレスコイル
(オープンタイプ)

FWD試験の様子
(デモ動作)

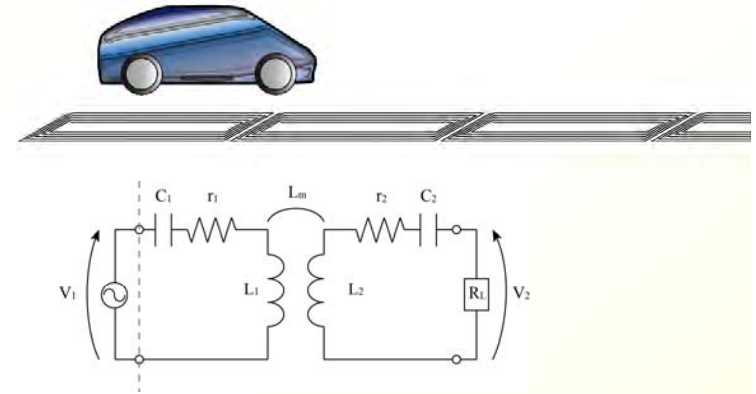


④走行中ワイヤレス給電の技術 ～システムの全体像～

Coil type

Open type coil
(capacitor-less and ferrite-less)

S-S: series-series



Sensorless detection (primary)

detection

Power control by HAR (secondary)

control A type

Maximum efficiency tracking (secondary)

control B type

Simultaneous power and maximum efficiency tracking control (secondary)

control C type

Power off (primary)

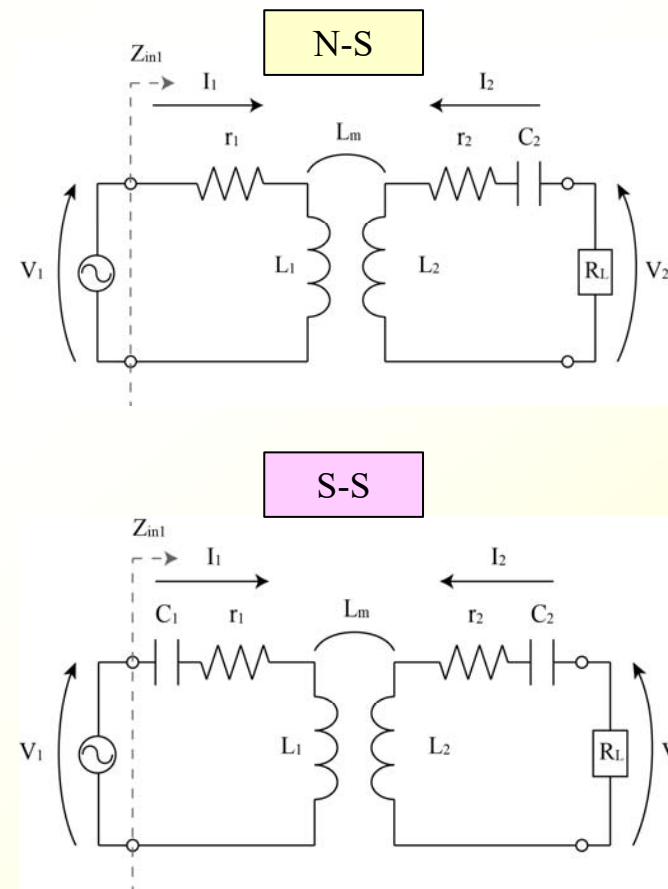
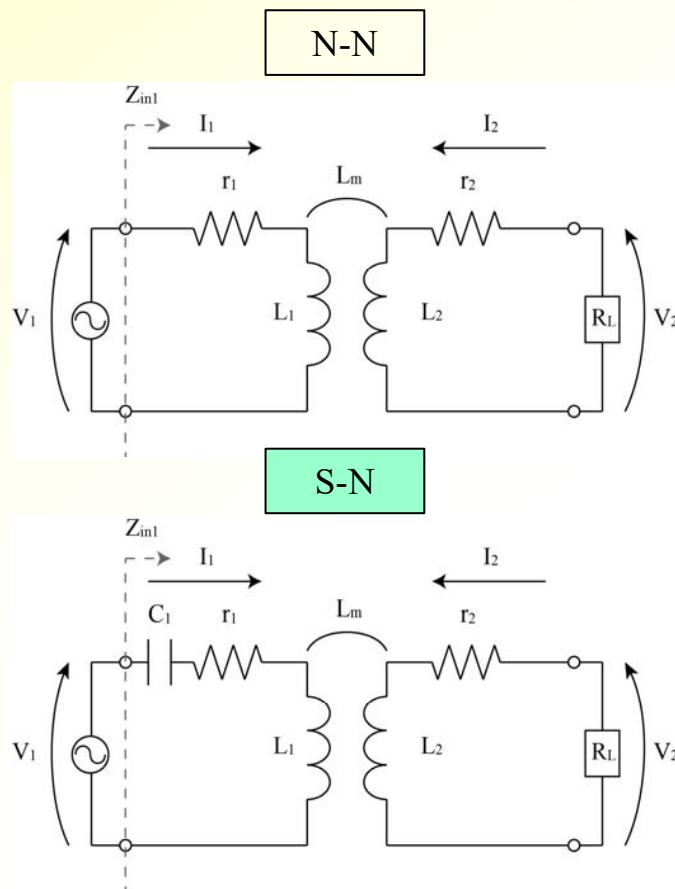
power off

Automatic driving using coil sensing

④走行中ワイヤレス給電の技術 ～システムの全体像～

S-S から N-Nへのシームレスな説明

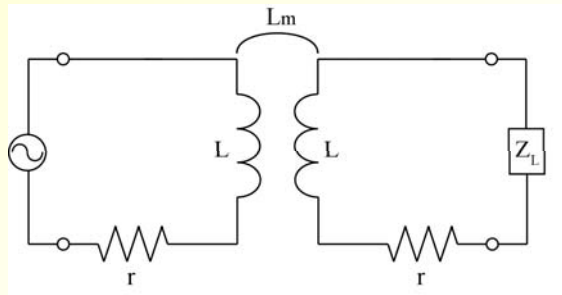
(N: Non-resonant, S: Series)



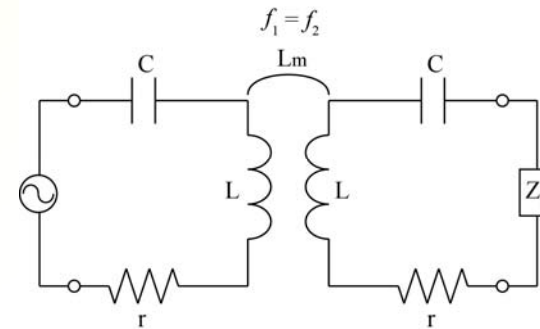
Takehiro Imura, Yoichi Hori, "Superiority of Magnetic Resonant Coupling at Large Air Gap in Wireless Power Transfer", 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (2016).

④走行中ワイヤレス給電の技術 ～システムの全体像～

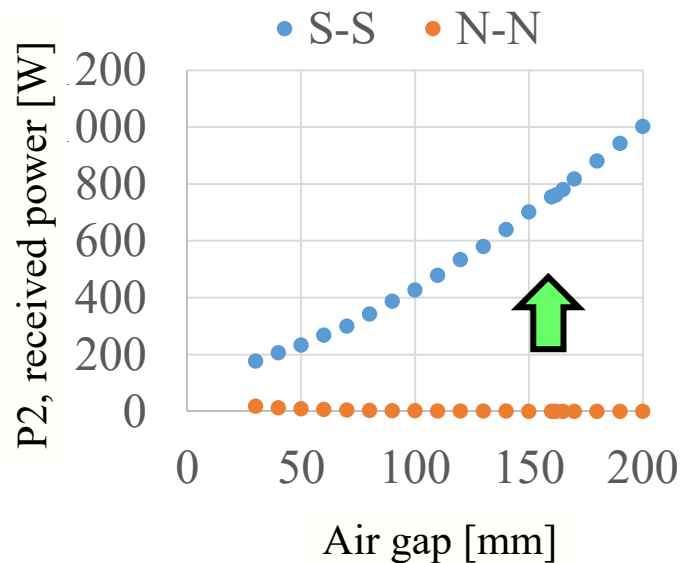
N-N



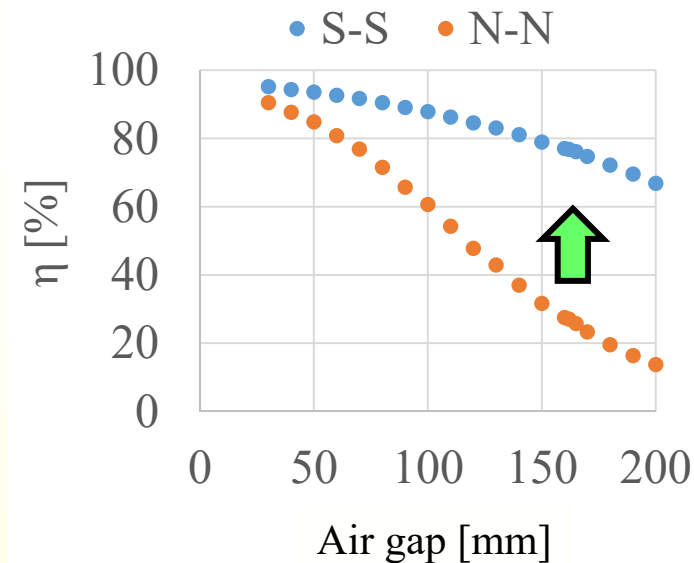
S-S, MRC



大電力



高効率



(N: Non-resonant, S: Series)

⑤ コスト比較（電池と走行中ワイヤレス給電）

走行中ワイヤレス給電の機器含めた建設費

1kmあたり1～3億円

1億円：東京-大阪間500km×2（往復）=1000km ⇒ 1000億円

安い？ 高い？
⇒ 激安！？

低コスト化の方法

① 給電区間距離の短縮化

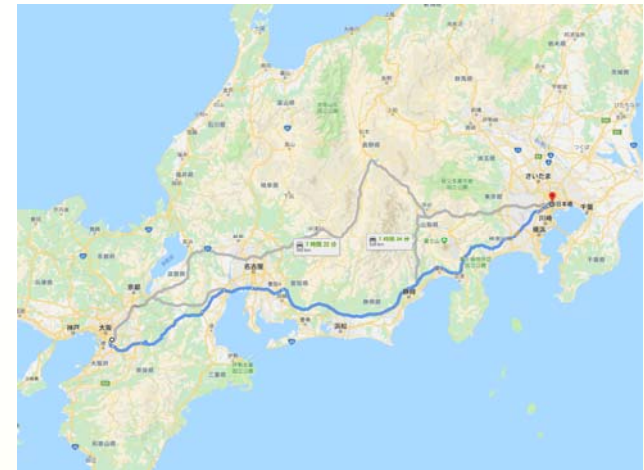
給電区間距離1/10程度 ⇒ 100km & 電力10倍

② コイル部分の低コスト化

一つのコイル長1m：1000km ⇒ コイル100万個

⇒ 量が効いてくるシステム ⇒ システムの低コスト化が必要

⇒ フェライトレス & コンデンサレスコイルは従来の約1/3以下のコスト



数字を出すと、数字が一人歩きしてしまうため、いくつかのシナリオの検討やより精度の高い検討を行い、業界のコンセンサスが得られる事が必要。

⇒ 一方、決まると一気に動き出す。

⑤ コスト比較（電池と走行中ワイヤレス給電）

電池のコスト

EV：100～200万円が電池コスト

1kWh：約3.3万円とする

電池容量：40kWh $\Rightarrow$ 10kWh（DWPT）

約100万円程安くなる（単純計算）

社会システム全体の低コスト化 （電池のコストと走行中ワイヤレス給電のコスト）

国内自動車販売500万台の10%がEV $\Rightarrow$ 年間50万台 EVが販売

EV価格が100万円安くなる

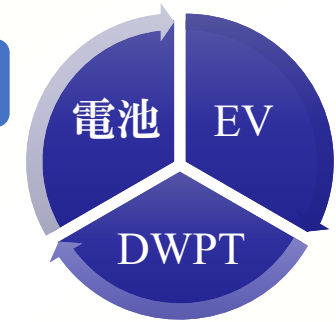
$\Rightarrow$ トータルで5,000億円浮く（1年あたり）

東京-大阪間：1000億円

電池コスト：5000億円/年

$\Rightarrow$ 何か、出来そうな気が少ししませんか？

⑤ コスト比較（電池と走行中ワイヤレス給電）



電池コスト：5000億円/年

⇒これをインフラ側に回す（まあ、現実的ではないです。）

⇒現実に出来る方法は？業界超えた合弁会社？走行中ワイヤレス給電株式会社？

もしできたら・・・

⇒資源的に無理と言われつつ進められている全自動車がEV化したと想定する量の桁違いの電池の大量生産も不要で、社会的コストを下げる未来が描ける。

⇒EV化社会が到来できる

⇒EV価格が安くなる ⇒EVの購入も容易になる ⇒EVの販売台数も増える

⇒販売台数に占めるEVの割合も10%から20%と徐々に増える。

上手く
回す！

◆社会全体の仕組みを変え、上手く回す

⇒インフラ側を充実させて、EVを低コスト化して、EVの普及促進というストーリーを描ける。

⇒軽量化された分、EVは軽量化されるので電費節約にもなる。

⇒もちろん、多くの異分野の業界や産業に関わる話なので、こんな簡単に進む話ではないが、海外では出来そうな国もある。

◆走行中ワイヤレス給電設置コストとユーザーが支払うトータルのEVの電池コストを比べると圧倒的にインフラの方が安い試算となる（これもまた精度の高い調査が必要）

本日の内容

■前半：走行中ワイヤレス給電のメリット

- ① EV化の流れ
- ② 大量の大容量電池の道
- ③ 走行中ワイヤレス給電の道 ～大量の電池生産からの脱却～
- ④ 走行中ワイヤレス給電の技術
- ⑤ コスト比較（電池と走行中ワイヤレス給電）

■後半：走行中ワイヤレス給電がもたらす未来社会

- ⑥ 走行中給電とスマートグリッド（PV大量導入）
- ⑦ 走行中給電と太陽光発電（オフグリッド）
- ⑧ 準走行中給電
- ⑨ 走行中給電と自動運転と都市計画

PVの大量導入が出来ない理由

〈PVの大量導入が出来ない理由〉

- ① 現状の再生可能エネルギーの負荷変動の安定化は火力に依存
⇒ CO2増加、燃料のコスト高に苦しむ。
- ② 停車中のEVとスマートグリッドによるV2Gの再生可能エネルギーによる負荷変動を抑える負荷平準化電源の研究

再生可能エネルギーを大量導入したい

⇒負荷平準化電源、つまり、電力系統に使えるほどの
超大型の蓄電池がない

⇒停車中のEVとグリッドをつなぐG2V

⇒将来的にはEVが普及し大量に出回る

⇒大量の分散化電源（電池）として使用

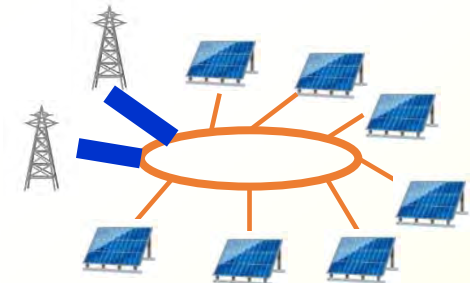
⇒負荷平準化として使用

⇒コンセプトの大筋には賛同

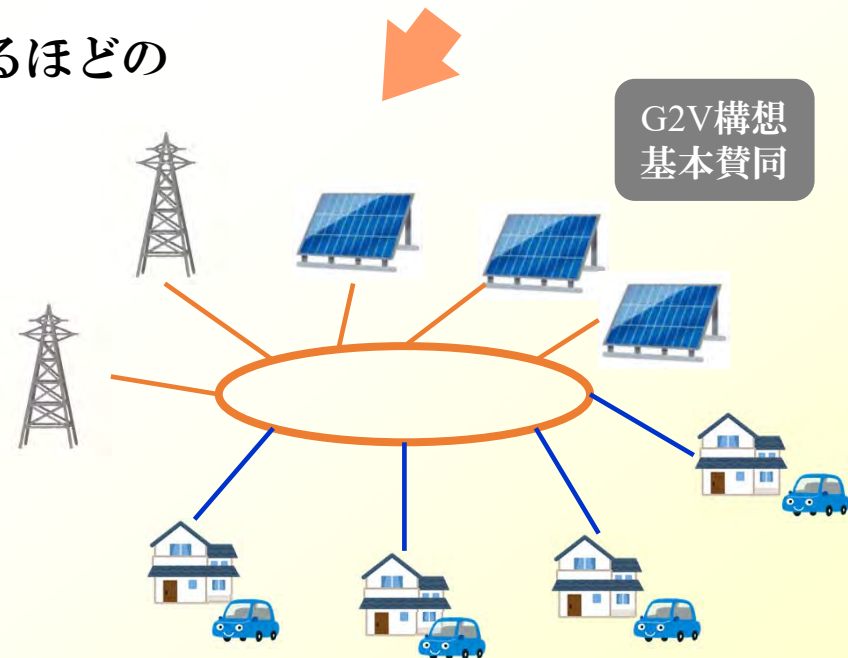
⇒気になる点もある

⇒提案：停車中充電よりも、走行中ワイヤレス給電
の方が相性がいい。

系統への負荷過大！
無理がある



G2V構想
基本賛同



悪くないが
あと一歩

PVの大量導入が出来ない理由

〈PVの大量導入が出来ない理由〉

②停車中のEVとスマートグリッドとで作られるV2Gによる、再生可能エネルギーによる負荷変動を抑える負荷平準化電源の研究について。

停車中EVを使ったGtoVの“気になること”

⇒ 停車中のEVの電池を分散化蓄電池として使う

⇒ 前提として、**停車中の車に日中お腹を空かしておいてもらう必要あり**

満充電まで電気を溜めないで、例えば50%～80%のバッテリー残量にしてもらい、日中に太陽光や風力からの余剰電力を吸収してもらう構想。

いざ車に乗って出かけたいとき、バッテリーが減っている⇒心理的にマイナス
電池劣化の原因となる目的外の充放電⇒心理的にマイナス

今後のEVの普及と日中使われないEVを活用というアイデアには期待

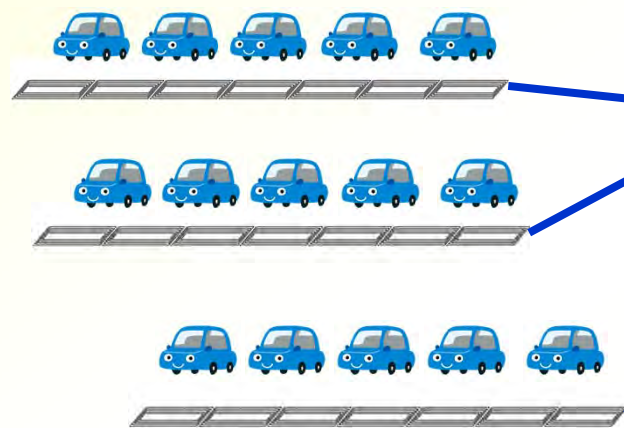
⇒ユーザーを納得させられるストーリーやインセンティブ次第

⇒ 本日は、もう一つの道について示したい。

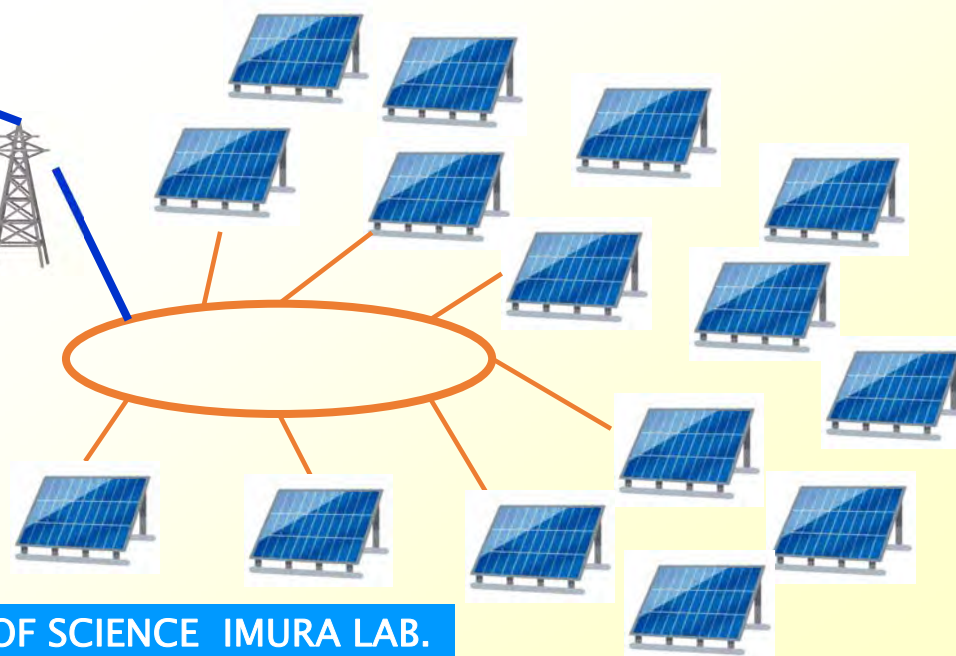
⑥ 走行中給電とスマートグリッド (PV大量導入)

相性の良い組み合わせは
DWPT+PV

DWPT+PV構想



G2V構想



⑥ 走行中給電とスマートグリッド（PV大量導入）

〈PVの大量導入と走行中充電のシナリオ〉

提案する未来像：走行中給電（DWPT）とPVなどの再生可能エネルギーを考慮したスマートグリッドの融合

停車中充電の電力は3.3kW～7.7kW

走行中給電は20kW～40kW以上（走行＋充電）

⇒電力比は約5～12倍

PV余剰分に日中は更に20kW上乗せできるようにする

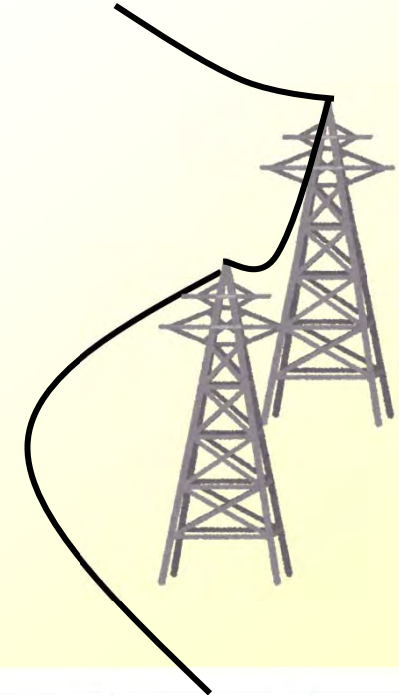
負荷平準化用の負荷として考えた場合、
走行中給電がその一部として使用されると考えるのが自然

⇒DWPTによるG2V構想

日中の太陽光が一番元気な時間帯と
車の走行量を考えても親和性が高い。

停車中充電の様にわざわざ日中に
電池を減らして待って貰う必要も無い。

⇒心理的なマイナスはない。

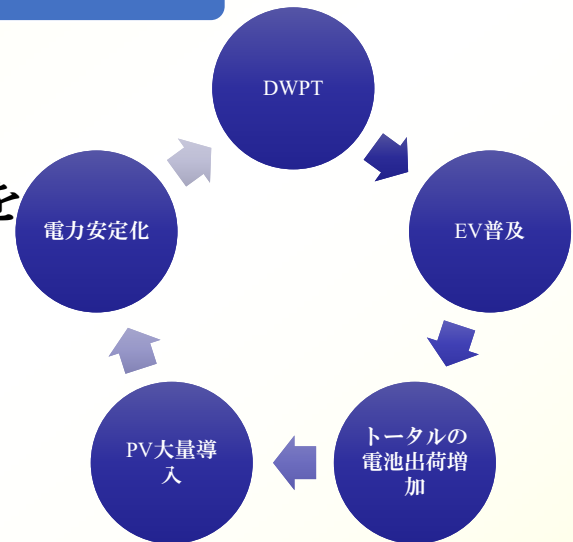


⑥ 走行中給電とスマートグリッド（PV大量導入）

通常のDWPTに加えて負荷平準化としての電力が増加する分を吸収させるシステム設計を発送電側に組み込むことになる

⇒電力広域的運営推進機関（OCCTO）の運用に組み込み可能な計画が重要

⇒翌日の天気予測、交通予測を踏まえた電力市場の調整等、大変ながら面白い！？

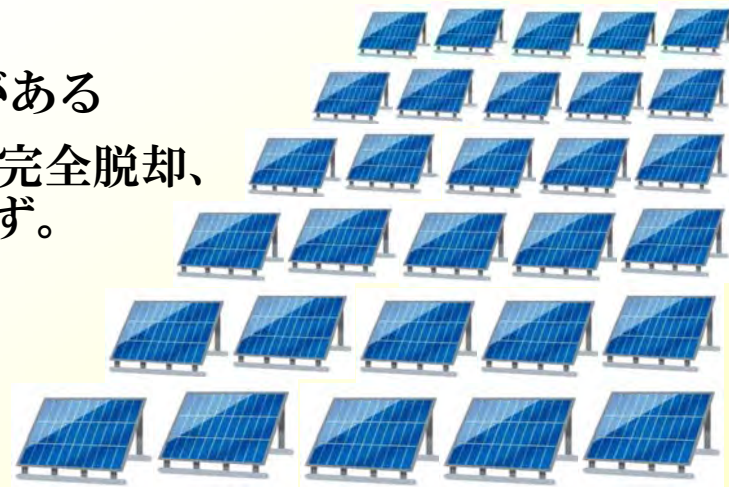


＜視点を変える＞日中に電力を大量消費（蓄電）してくれるDWPTという負荷がある

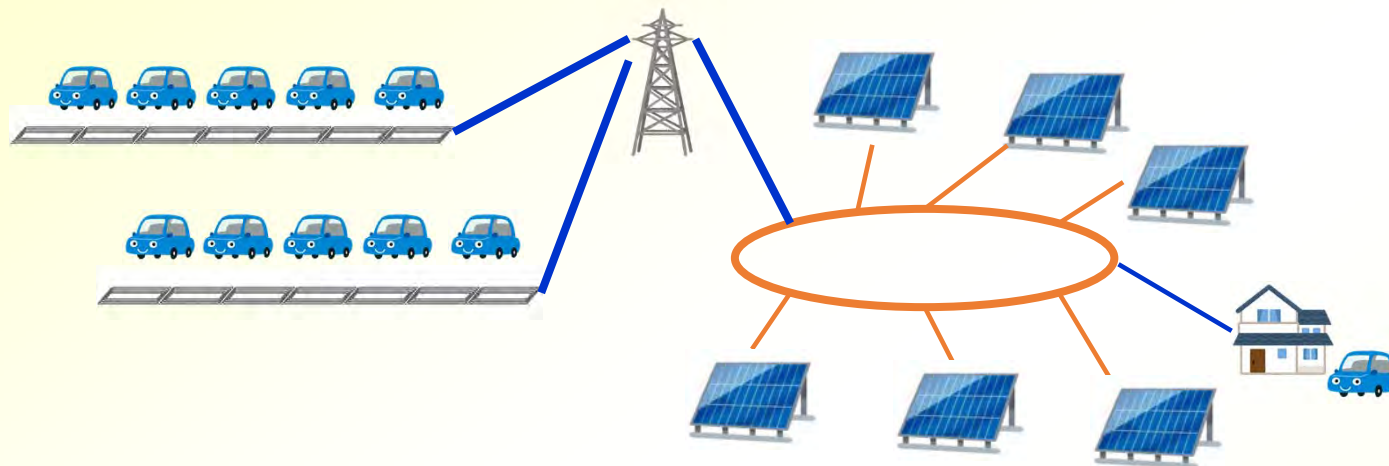
⇒PV出力抑制という道ではなく・・・

⇒更なるPVの大量導入という道に進める可能性がある

⇒ここまで来れば、石油依存のガソリン車からの完全脱却、つまり100%近いEV化は見え始めてきているはず。



⑥ 走行中給電とスマートグリッド (PV大量導入)



- 車で使用するエネルギーを全て再生可能エネルギーにする時代が来る
- 更に、社会全体の発電を再生可能エネルギーにする事すら可能
- 日中の負荷平準化は走行中ワイヤレス給電 (+ 停車中充電)
夜間の電力は停車中EVが担保！？

DWPTは
車以外の問題
(電力系統)
も解決できる
のがウリ！

⑦ 走行中給電と太陽光発電（オフグリッド）

最初から走行中ワイヤレス給電とスマートグリッドの融合は現実的？できるの？
導入シナリオは？



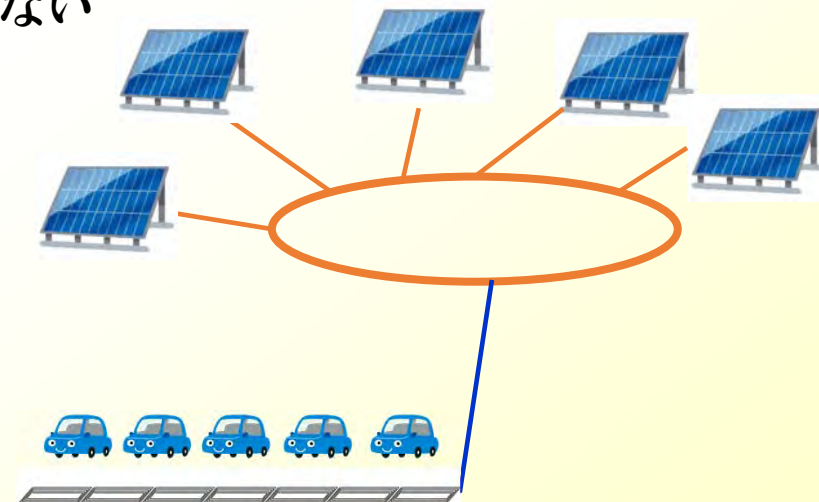
提案：オフグリッド版の走行中ワイヤレス給電とPVの融合



系統からの送電線を引っ張れない場所に適している
高速道路沿いに送電線があるとは限らない
小規模検証に最適



オフグリッドのDWPT+PVの検証



⑦ 走行中給電と太陽光発電（オフグリッド）

DWPT+PV（オフグリッド）

道路脇にPVを分散化電源として設置

供給サイドと負荷サイドの送電距離が0km（分散化電源&地産地消）

都市から電力を引っ張ってくる必要が無い ⇒ 送配電線による送電ロスがゼロ



どのくらいのPVが必要？



道路に沿って1列並べるだけ

意外と少なく
ないですか？



⑦ 走行中給電と太陽光発電（オフグリッド）

条件

テスラモデル3，時速80km/h，給電電力13.5kW

安全距離として2秒間以上の車間距離を空ける

時速80km/h $\Rightarrow$ 約44m

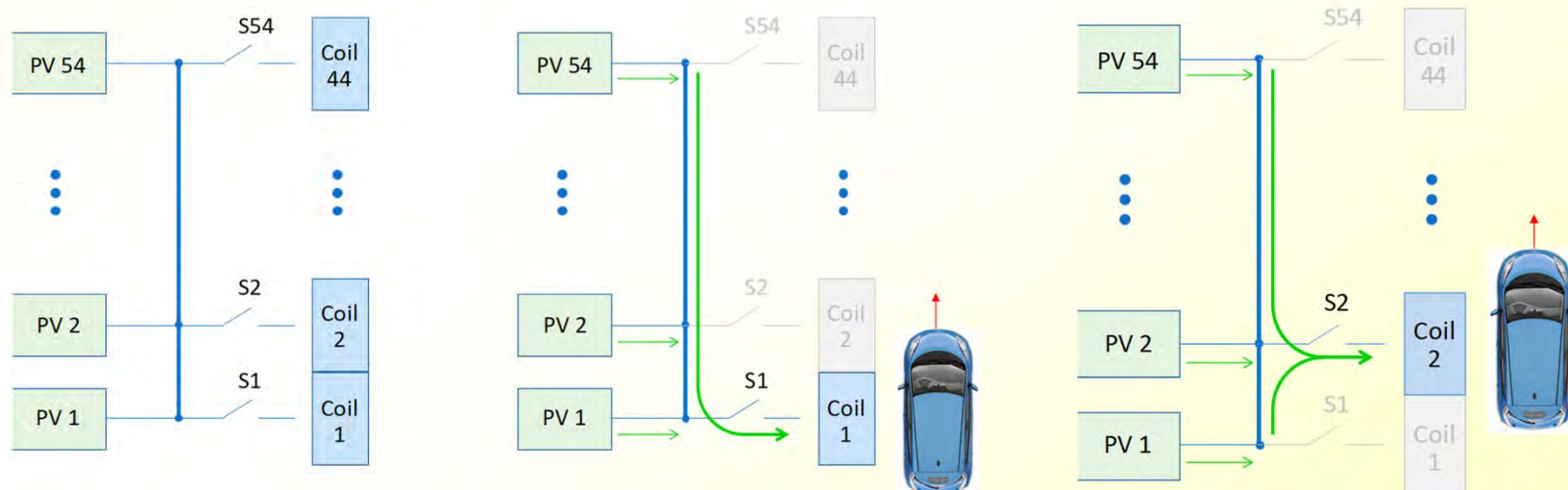
$\Rightarrow$ 44mの間にあるPVの発電電力を1台の車が使用

$\Rightarrow$ 1580×812mmで245W出力できる市販のPVを基に試算

（出力としては一番大きいタイプではない）

54枚×0.81m $\div$ 44mを1列に並べればOK

20～40kWの場合は2列 or PV出力UP

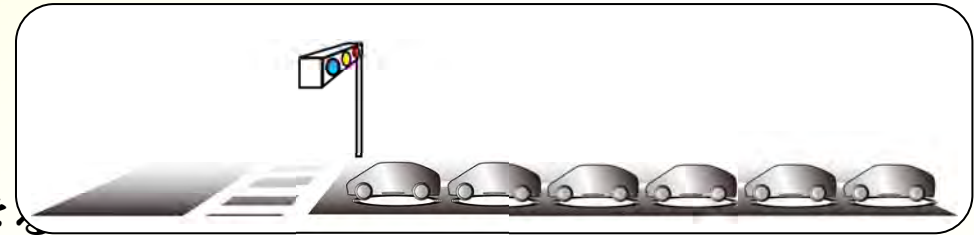


⑧ 準走行中給電

○交差点でのワイヤレス充電

準走行中給電 (Semi-dynamic WPT)

停車中や走行中の両方の状況が頻繁に起きる



給電区間：市街地の信号前30m (車6台分)

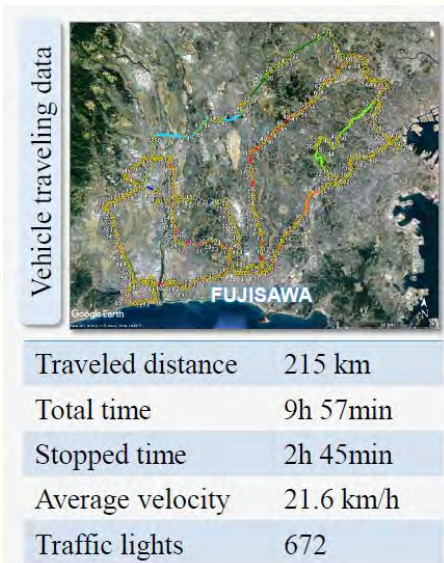
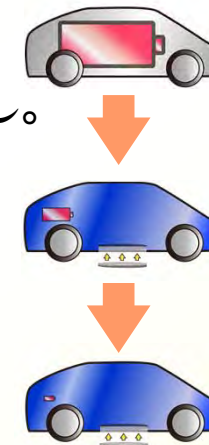
15kW ⇒ 電池の残量を減らせずに走れる。SOC増減なし。

市街地走行時のバッテリー：

(消費エネルギー) = (給電エネルギー)

エネルギー増減のバッファとしての電池搭載量で十分
バッテリーの小型化に期待 (1kWhも可能!?)

給電電力を大きくすれば、バッテリー充電も当然可。



出典: 郡司他, WPW2019

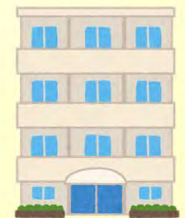
自宅で充電できない人でも町中に走りに行けば勝手に充電される面白いビジョン

マンション住まいで駐車場に充電装置を気軽に設置できないユーザーに最適。

走行中給電の導入のシナリオとしても有効

(現状) 走行中給電⇒規模感的に大きすぎる⇒プロジェクト化に躊躇

(期待) 準走行中給電⇒DWPTの前段のプロジェクト。DWPTの導入シナリオ。



⑨ 走行中給電と自動運転と都市計画

○交差点給電（街中）＋走行中給電（都市間）＋PVの時代

400km走れるような40kWhの電池は不要に

⇒10kWh（100km）以下が標準

⇒ 1kWh（10km）の電池搭載量という未来も描ける

⇒いずれにせよ、十分に電池搭載量を減らすことが可能



○走行中給電&自動運転+PVの時代へ

通勤時間はもはや移動のためだけの時間ではなくなる。

作業することも可能である ⇒ 休息 & 身支度 & 趣味の時間へ

駅を経由しなくなる⇒駅集約型都市でなくなる

⇒インターチェンジ（IC）集約型都市の可能性

ICもしくは、IC機能のあるSA周辺を単位とした都市形成

⇒土地価格の見直しへ

⇒新しい街は走行中給電のインフラの街ぐるみでの導入

⇒モデル都市⇒全国普及⇒全世界普及

更にその先
未来



補足

ワイヤレス電力伝送（電線）

⇒電線メーカーの敵？⇒いいえ、味方です。

⇒有線接続より無線電力伝送の方が
多くの電線を使います。

（コイルは電線の塊です）



ワイヤレス
電力伝送は
みんなの見方！

社会を上手く
回して利益を
シェア

フェライトレス&コンデンサレスコイル（走行中ワイヤレス給電用）

⇒フェライトメーカーとコンデンサメーカーの敵？⇒いいえ、味方です。

走行中ワイヤレス給電はEVの普及が目的です。EV普及率10%を超えて、
受電コイルがEVに搭載されたら、フェライトもコンデンサも使います。

（車両側はフェライトもコンデンサも必要）



走行中ワイヤレス給電（電池搭載量の削減）

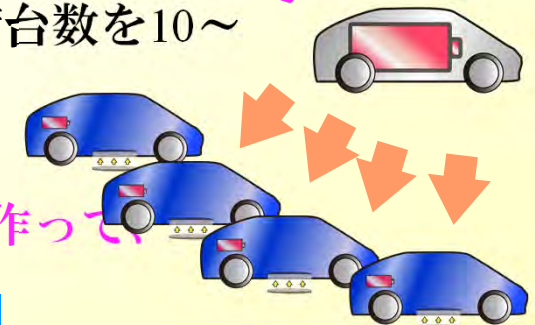
⇒電池メーカーの敵？⇒いいえ、味方です。

電池搭載量が1台あたり1/4～1/6になったとしても、EVの出荷台数を10～
100倍にすることができるのが走行中ワイヤレス給電です。

EV化社会が訪れなければ、電池の出荷も頭打ちです。

◆小さなマスを奪い合うのではなく、大きなマス（産業）を作って、
得意な分野で利益をシェアしましょうというお話です。

出荷台数
(EV普及)
で稼ぐ



まとめ

未来像も共有しないことには議論が出来ないため、EV普及と、走行中ワイヤレス給電の役割について述べた。

走行中ワイヤレス給電は、一台あたりの電池搭載量を減らすことで、むしろ、多くのEV導入を可能にすることが出来る。

つまり、EV社会実現には、走行中ワイヤレス給電が必要である。

また、走行中ワイヤレス給電は太陽光発電と組み合わせることで、オフグリッドとしても、電力系統と融合し負荷平準化としても使える可能性がある。

準走行中給電（交差点充電）の可能性についても紹介。

走行中ワイヤレス給電と自動運転と将来の都市計画についても紹介

業界を超えた社会全体の最適化を考える時代が到来している。

出来ないというのは簡単。出来ない理由も簡単に思いつく。

⇒しかし、100年前の人が今の時代を想像出来ているか？ ⇒ 否

⇒ 世界中の道路がアスファルトで覆い尽くされていると言っても誰も信じてくれないし、笑われた時代はあったはず。

⇒ 走行中ワイヤレス給電で覆い尽くされる時代が来るかもしれません。

