

# DORAEMON 「タップ & チャージ」 システム提案の強化

## 原文全文 (Markdown)

```
# DORAEMON 「タップ&チャージ」 システム提案の強化
```

```
## 序論とコンセプト概要
```

DORAEMON (Detached On-demand Rapid Absorption Energy Mechanism for Optimized Networks : 最適化されたネットワーク用の離脱型即時高速吸収エネルギー機制) は、

このアイデアを確かなものにするには、以下を包含する厳密な理論枠組みが必要です。

- 短時間パルス中の高効率な電磁結合（短時間接触で高い電力をどう達成するか）
- 中間貯蔵（スーパーキャパシタ）の高速吸収ダイナミクス（容量、ESR、リーコ等の回路物理による限界）
- バッテリーへの最適放電制御（充電速度と寿命の両立）

以下では各要素を数理的に詳細化し、理論主張が物理的に妥当であることを示します。さらに、MATLAB/Simulink

```
## 瞬時エネルギー移送のための電磁結合理論
```

```
### 相互インダクタンスと共振結合
```

送電・受電の2つの共振コイルは、結合した誘導システムを形成します。相互インダクタンス  $(M)$  は、

```
$$
```

```
M = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{C_1} \oint_{C_2} \frac{d\vec{ell}_1 \cdot d\vec{ell}_2}{\| \vec{ell}_1 - \vec{ell}_2 \|}
```

幾何形状によっては数値計算が必要ですが、コイル間距離が小さいほど、また重なり面積が大きいほど  $M$  が大きくなります。

共振動作では、各コイルにコンデンサ ( $(C_1, C_2)$ ) を直並列に組み合わせ、 $(\omega_0 = 2\pi f_0)$  が共鳴周波数になります。

```
### 伝送効率と最適負荷
```

等価回路モデルでは、 $(R_1, R_2)$  を各コイルの損失、 $(R_L)$  を負荷抵抗（整流・蓄電側で見込む有効抵抗）とします。

```
$$
```

```
\eta_{max} = \frac{k^2 Q_1 Q_2}{\bigl(1 + \sqrt{1 + k^2 Q_1 Q_2}\bigr)^2},.
```

例えば  $(k^2 Q_1 Q_2 \approx 0.42^2 \times 200 \times 150 \approx 5290)$  とすると  $(\eta_{max})$  は最大約 80% になります。

なお、最大電力点と最大効率点は一般に一致しません。短時間での総捕獲エネルギーを最大化するには、

### ### 50 ms 窓を満たす応答性

6.78 MHz で 50 ms は約 34 万サイクルに相当し、定常移送には十分な周期数です。立上りは  $\tau_{\text{rise}}$  アライメントの誤差は  $k$  を低下させ、効率を損ねます。短時間ではフィードバックで補正できない

### ## スーパーキャパシタ群による高速吸収

#### ### 充電ダイナミクスとエネルギー式

短時間パルスで受けたエネルギーは、まずスーパーキャパシタ (SC) 群に取り込まれます。バッテリーは有効容量  $C_{\text{eff}}$  と ESR  $R_{\text{ESR}}$  を用いると、

- 電荷収支： $\frac{dV_c}{dt} = \frac{I_{\text{in}} - I_{\text{leak}}}{C_{\text{eff}}}$
- 蓄積エネルギー： $E(V_c) = \int_0^{V_c} C_{\text{eff}}(V) dV$
- 入力電力の内訳： $P_{\text{in}} = P_{\text{stored}} + P_{\text{loss}} + P_{\text{leak}}$

短時間 (50 ms) ではリークは無視でき、支配的損失は ESR です。瞬時蓄積効率は

$$\eta_{\text{stor}}(I) = \frac{V_c I}{V_c I + I^2 R_{\text{ESR}}} = \frac{1}{1 + \frac{I^2 R_{\text{ESR}}}{V_c I}}$$

従って、 $V_c$  が小さい初期に大電流を流すと  $I^2 R$  損失が卓越し非効率です。低 ESR の素子を選択

### ## 最大捕獲のための最適電流波形

目的は  $T_c$  内に  $E(V_c(T_c))$  を最大化すること。制約は  $0 \leq I(t) \leq I_{\max}$ 、電圧・熱は单発パルスでは大きく上がらず、累積で管理すれば十分です。

### ## 最適放電とバッテリー充電理論

SC に貯えたエネルギーは、分離後にバッテリーへ数十分かけて移されます (2段階充電 : 50 ms で SC 充電)

$$V_{\text{bat}}(t) = \text{OCV}(\text{SOC}) + I_{\text{bat}}(t) R_{\text{int}} + V_{\text{RC}}(t) \\ \dot{V}_{\text{RC}} = I_{\text{bat}} R_{\text{RC}}$$

実務的には CC-CV (定電流→定電圧) が最適制御の解と整合し、温度制約に達するまで最大許容電流で充電

### ## コードによる検証フレームワーク

- 電磁結合：幾何・位置ズレ・距離・周波数に対する  $\backslash(k\backslash)$  と効率を FEM (COMSOL、Maxwell) または相
- SC 充電： $\backslash(V_c(t)\backslash)$  の ODE を ESR 損失込みで数値積分し、定電流 vs テーパ電流の効率を比較。最
- バッテリー放電：SC 初期電圧から DC-DC を介して CC-CV 充電を模擬し、SOC 上昇と温度を評価。
- システム統合：相互インダクタ+整流+DC/DC+熱のコシミュレーションでエッジケースを検査。

## ## 実現性と推奨

- 高性能部品：高  $\backslash(Q\backslash)$  コイル（リップ線等）と低 ESR SC（ミリオーム級）で  $\backslash(\backslash\eta_{\mathrm{eta}}_{\mathrm{\{link\}}}\backslash)$
- 安全と規制：6.78 MHz・100 W 級でも近接強結合とシールドで放射を抑え、近接検知・インタロックを
- アライメント補助：ガイドや磁気吸着で再現性を確保。
- スケール感：スマホ・ウェアラブル等の中小電力で即効性が高い。EV 等の大容量は増パワーや複数タッ
- 段/並列構成：並列受電→直列放電などの構成切替で電圧レベル最適化（要安全設計）。
- 適応制御：可変マッチング（バラクタ等）や学習で波形・同調を最適化。
- 多目的最適化：時間・効率・寿命の優先度に応じてモード切替（ブースト/エコ）。

結論として、DORAEMON のタップ&チャージは厳密な理論・数値検証に照らして実現可能です。高周波共振

## ## 参考文献 (Sources)

- Kurs, A. ほか, “Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances,” \*Science\*
- Wang, X. ほか, “Time-varying systems to improve the efficiency of wireless power transfer,” \*
- Volppack Energy Blog, “Wireless Charging with Supercapacitors – The Future of Fast, Convenient
- ABB Press Release, “ABB demonstrates flash charging electric bus in 15 seconds,” 2013年6月3日
- Park, S. ほか, “Optimal Control of Battery Fast Charging Based on Pontryagin’s Minimum Princi