

非接触電力給電 ～電界結合と言う第3の道～

宇都宮大学
船渡寛人

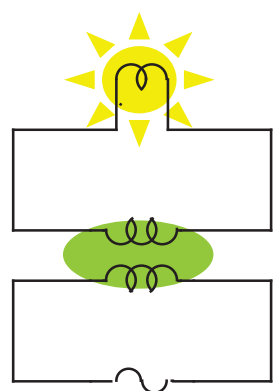
Hirohito Funato, (Utsunomiya University)

非接触給電

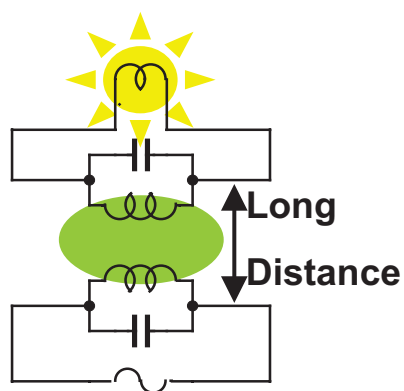
- 充電器を内蔵したモバイル機器
- 電気自動車

↓ 安全性・保守性を考えた充電方法

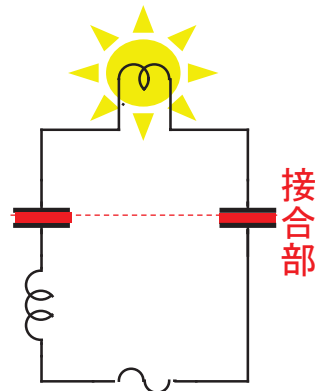
非接触給電が有望視される



電磁誘導方式



並列共振間
磁界結合方式
(MIT)



電界結合

■ 磁界による結合部

■ 電界による結合部

現在電磁誘導方式が主流



問題点

- 位置ずれによる効率の低下
- 異物進入時の過熱
- 電磁波・高調波の対策

電界結合方式

接合部の容量の拡大に限界
伝送密度が小さい

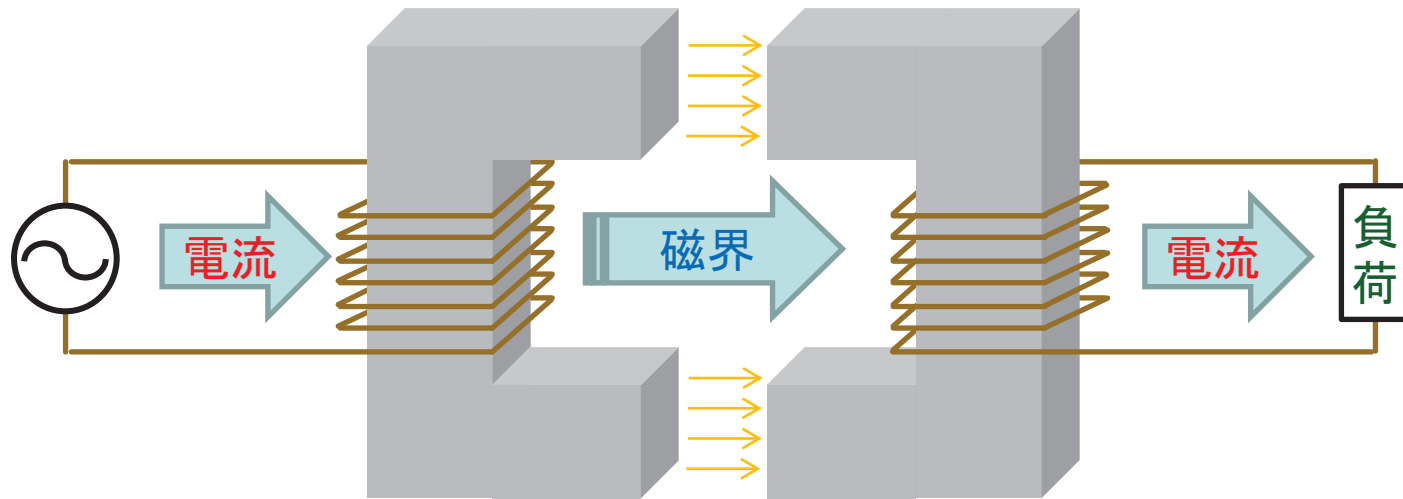
利点

- 軽量・安価
- 位置合わせに自由度が高い
- 高周波対応性あり



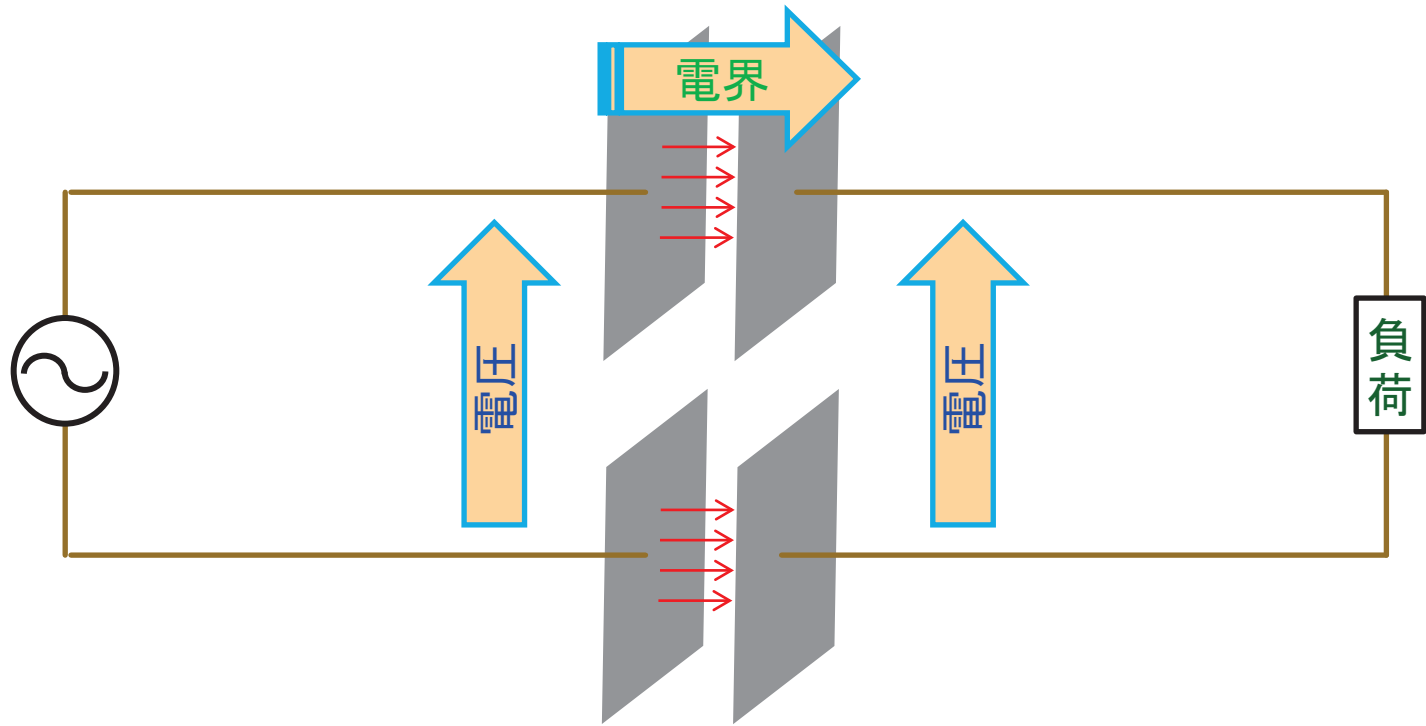
竹中工務店で開発
宇都宮大学で新方式の開発

磁界結合と電界結合



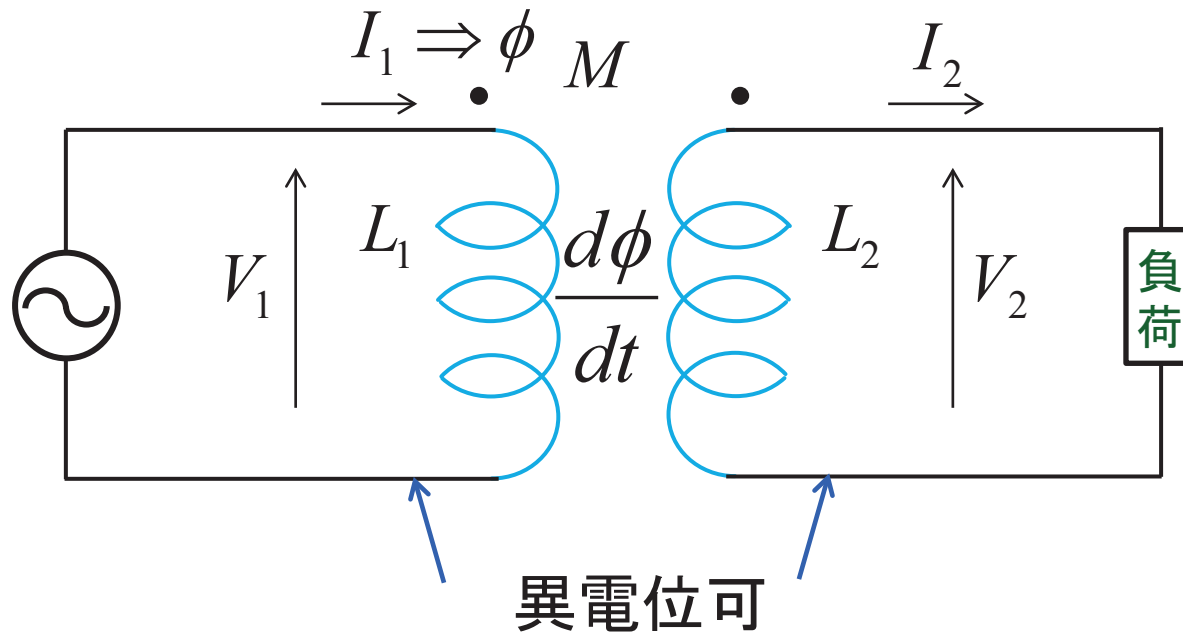
電流によって磁界が作られる→大電流が必要
相互誘導作用により伝達
相互インダクタンス、結合率が重要

磁界結合と電界結合

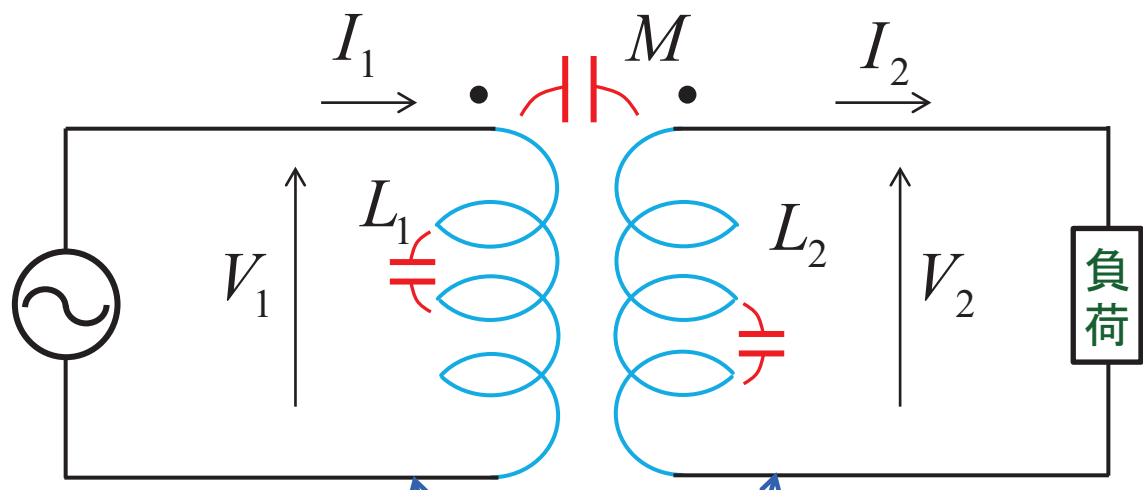


電圧によって電界が作られる→高電圧が必要
容量結合により伝達
キャパシタンスが重要

磁界結合の電気的特性



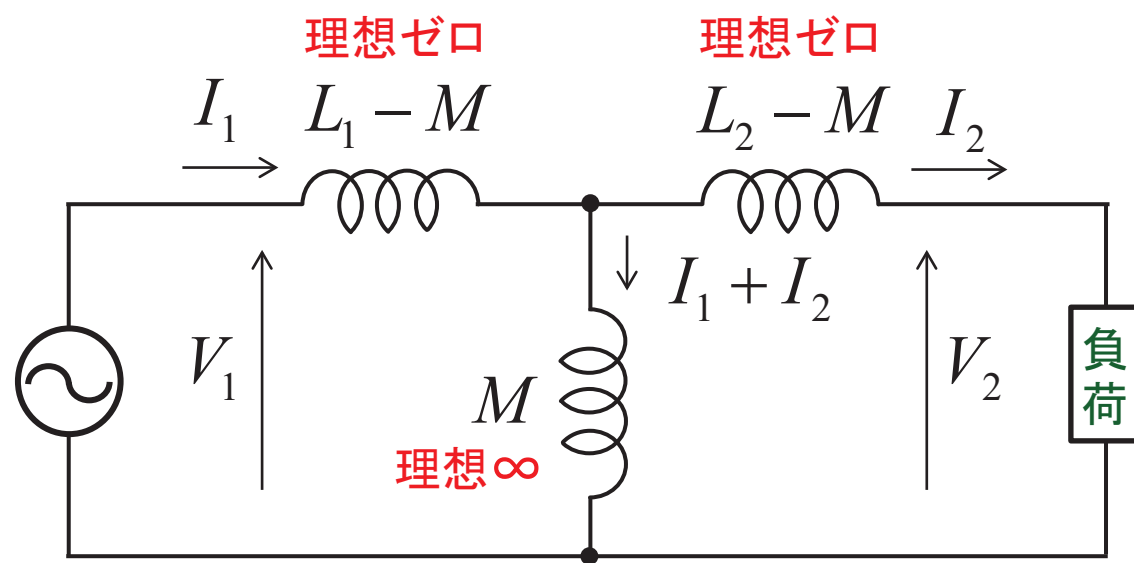
磁界結合の電気的特性



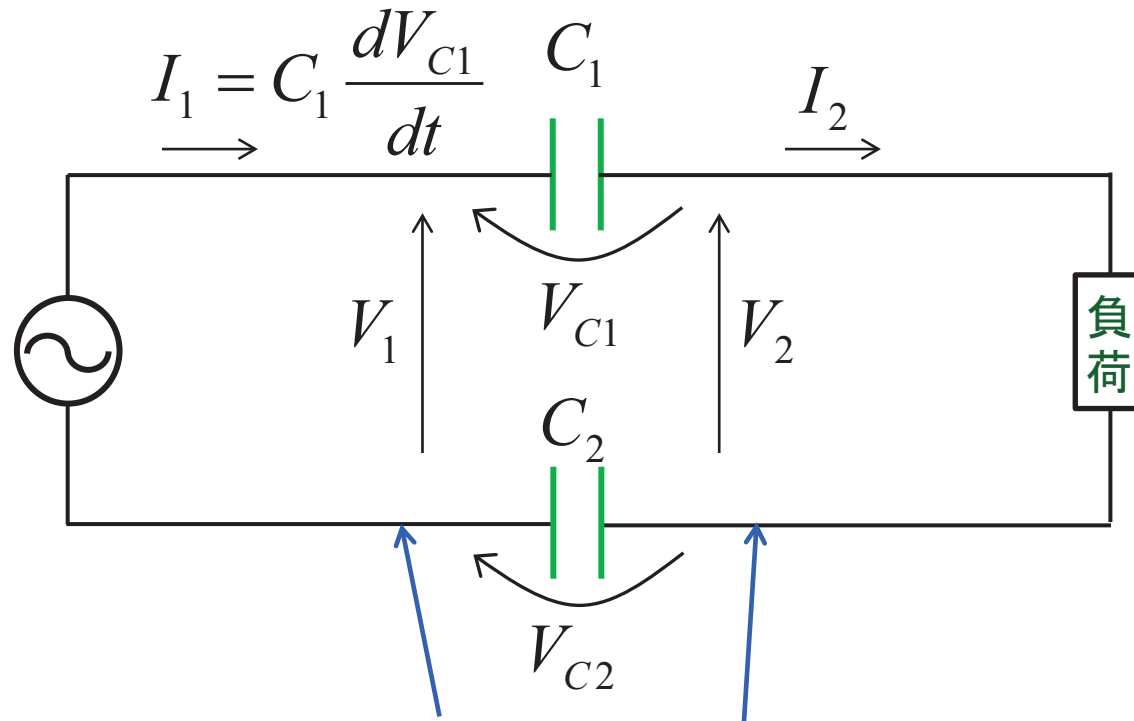
異電位可だが、
線間容量で。。。

小型化→高周波化

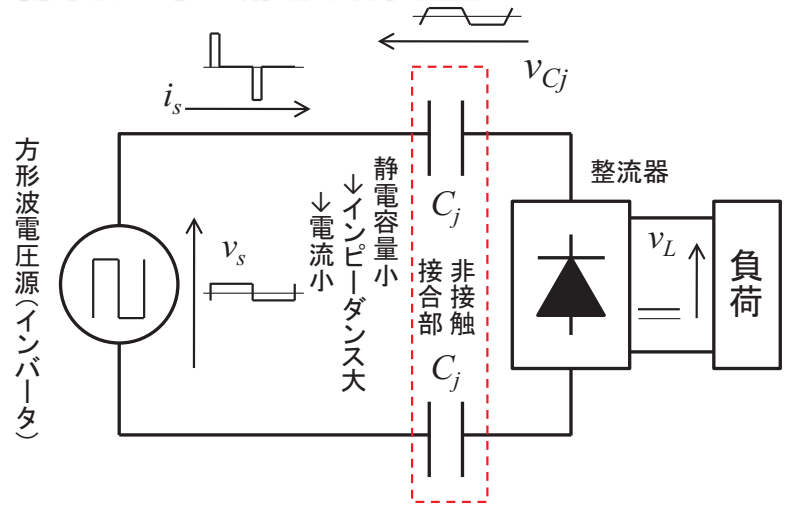
- ・線間容量
- ・漏れインダクタンス
→共振型
- ・表皮効果



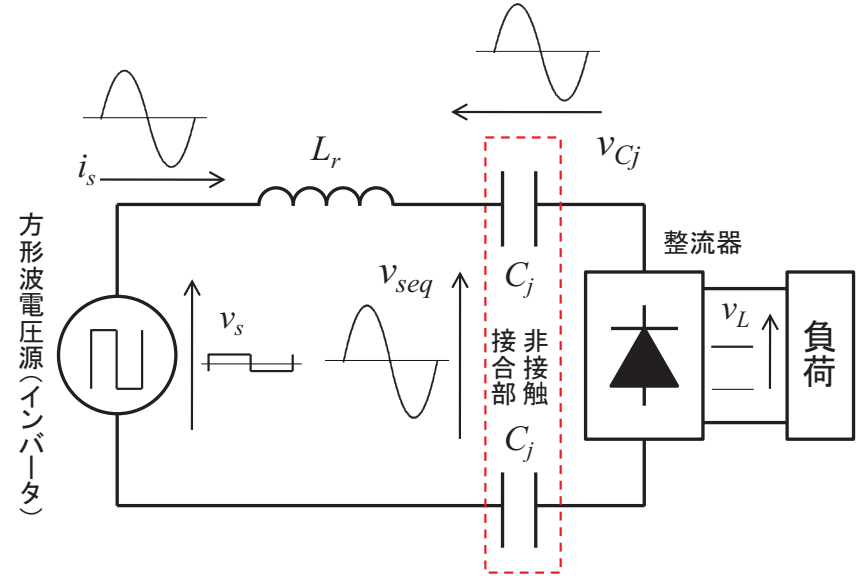
電界結合の電気的特性



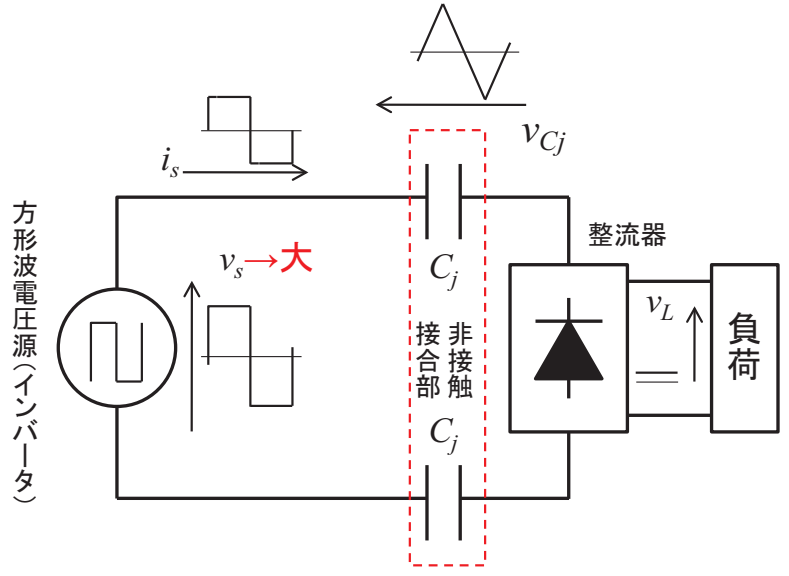
電流で電位差の時間変化で決まる。
 =直流電位に対しては、異電位可
 高周波は×



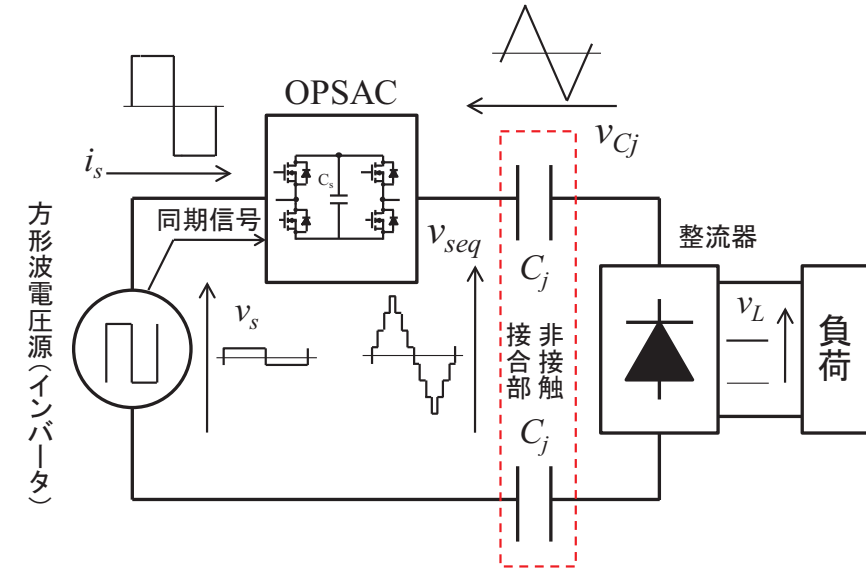
(a) 電界結合非接触給電(無補償)



(c) 共振の利用

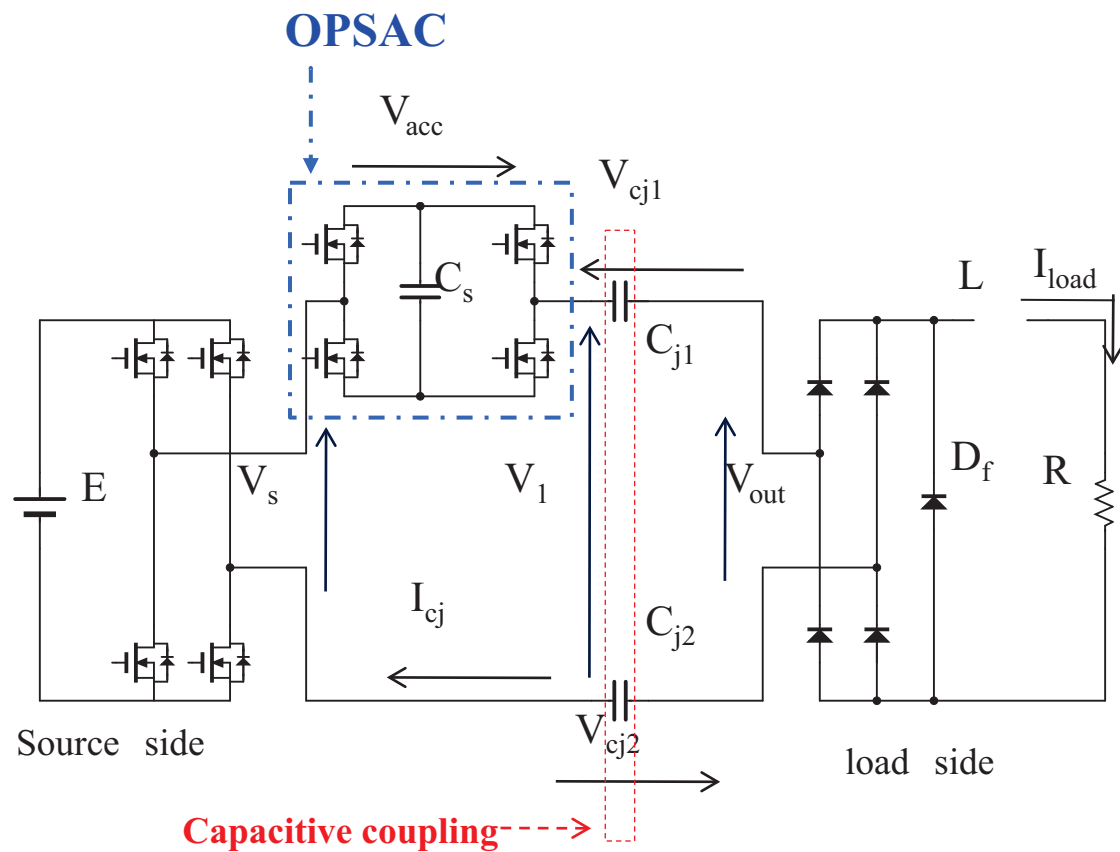
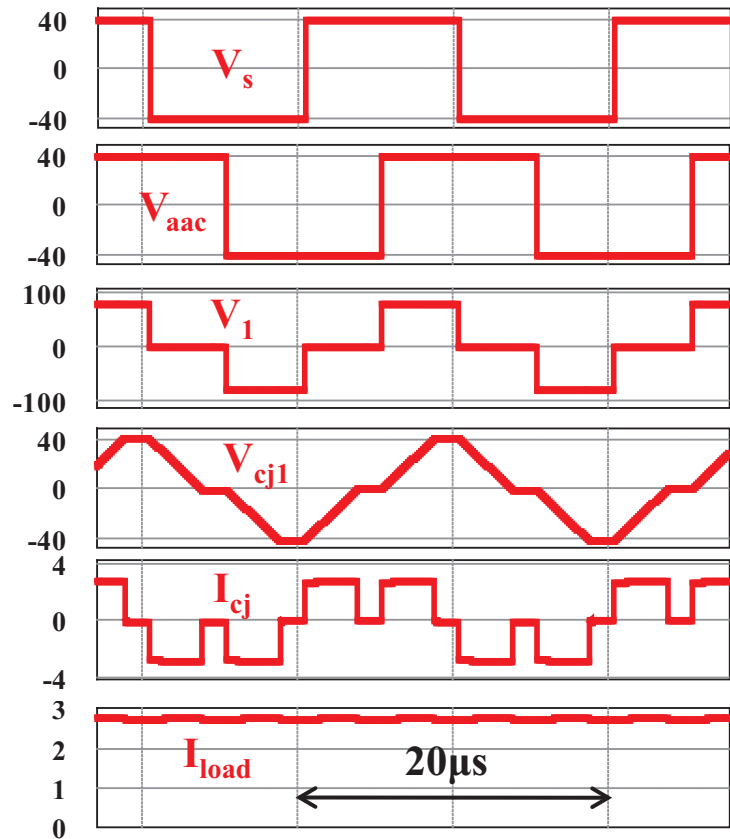


(b) 電圧振幅大



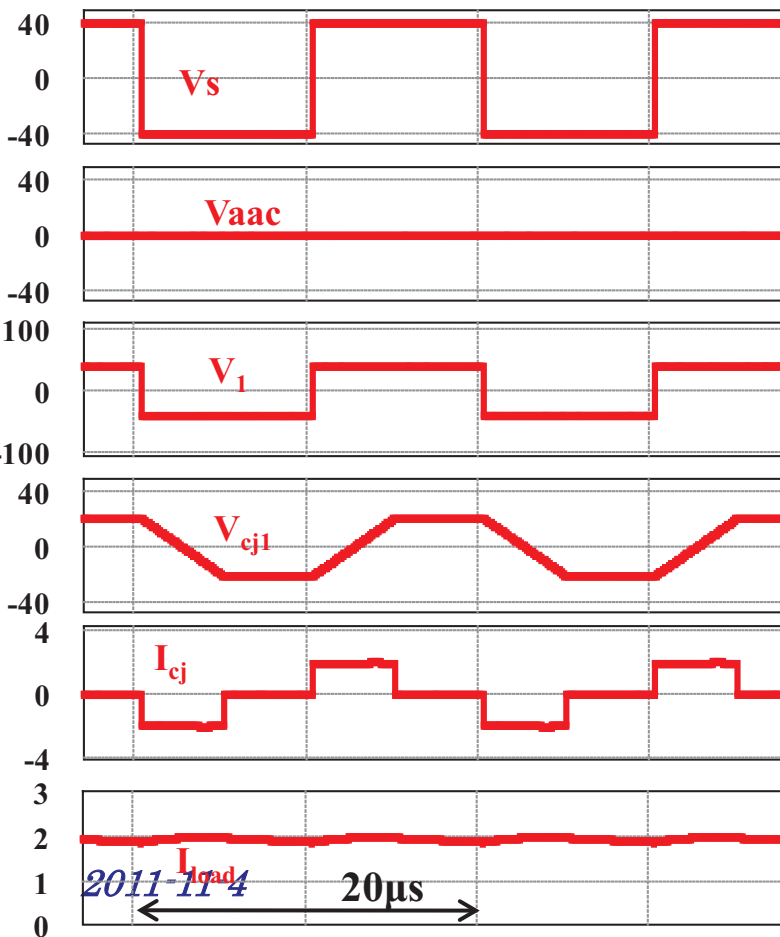
(d) アクティブキャパシタの利用

提案回路のシミュレーション波形 (アクティブキャパシタ接続)

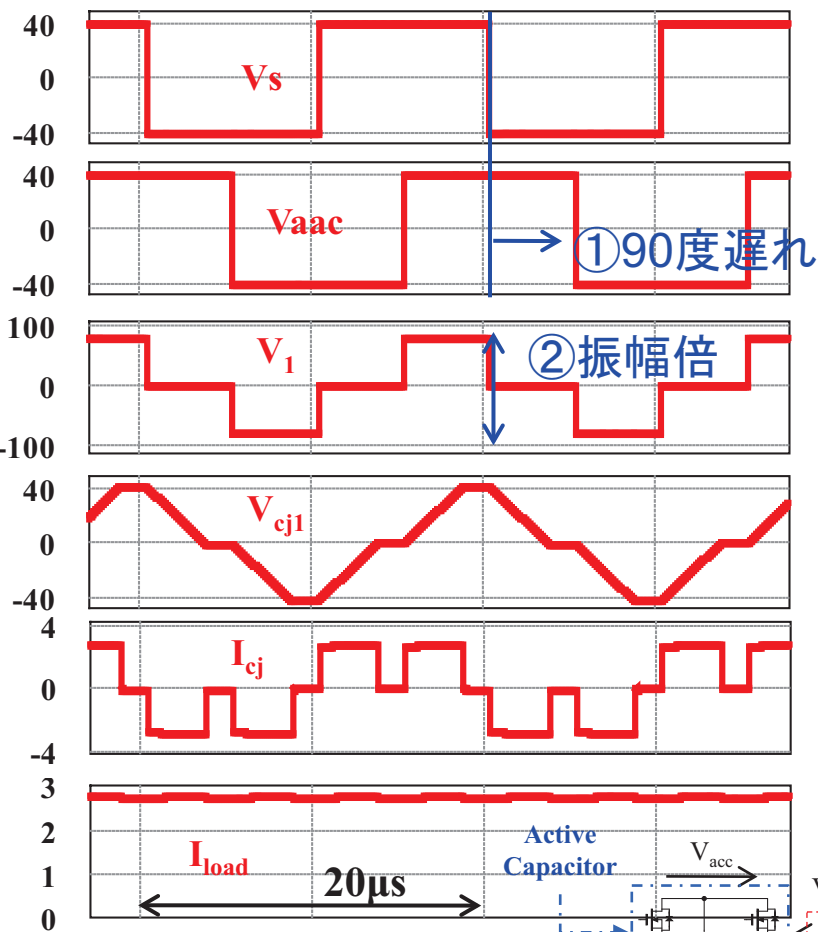


ワンパルススイッチアクティブキャパシタ
= One-Pulse Switching Active Capacitor (OPSAC)

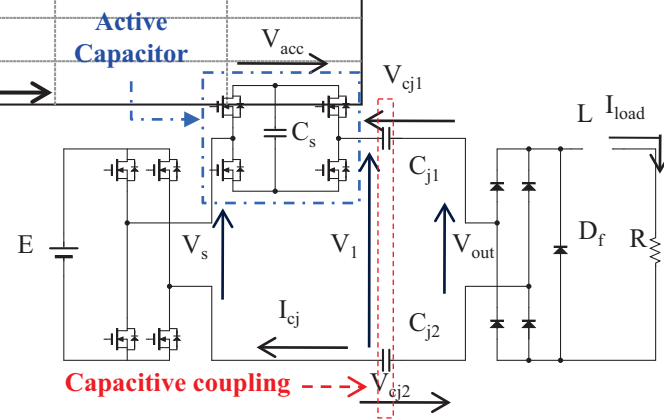
アクティブキャパシタ有無の比較

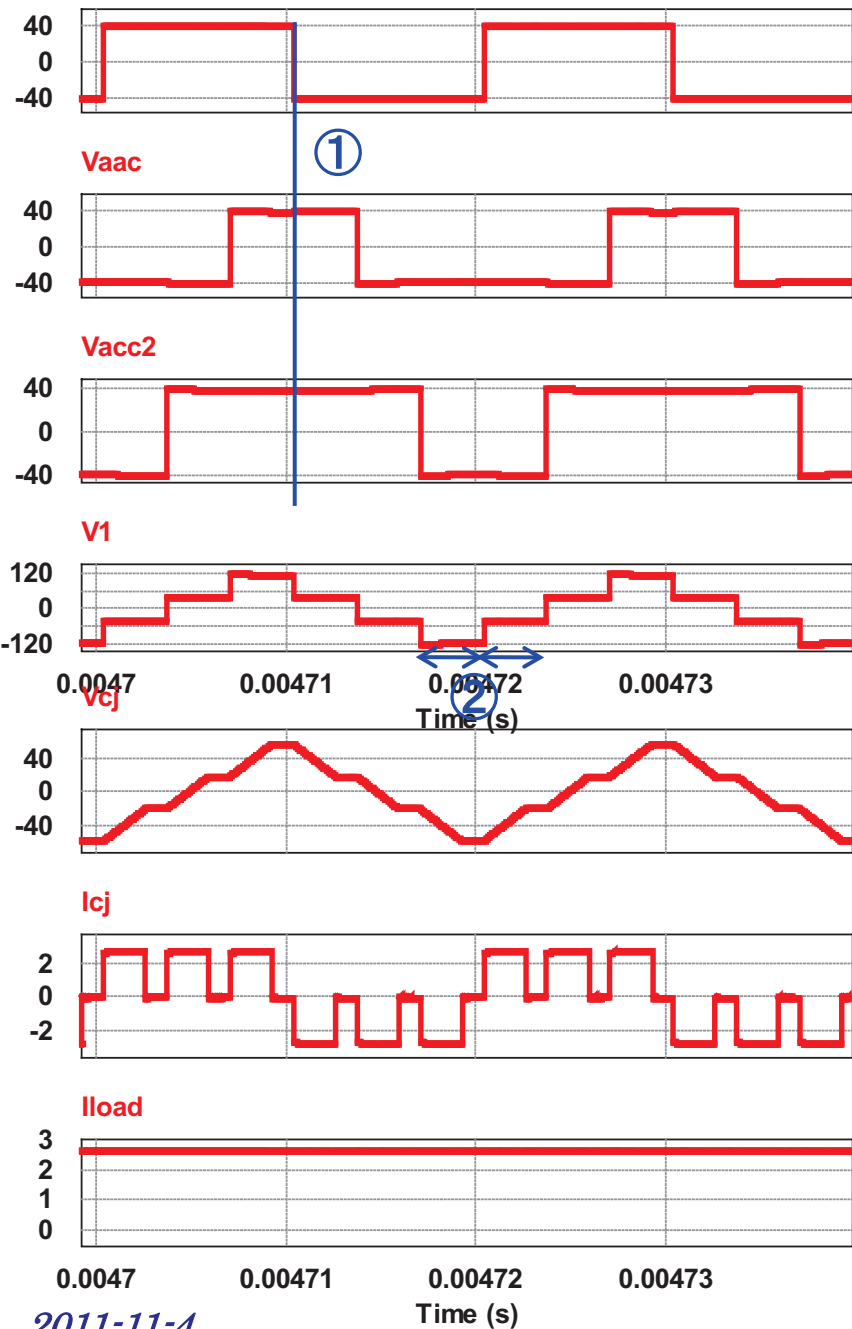


アクティブキャパシタ
接続前



アクティブキャパシタ
接続後

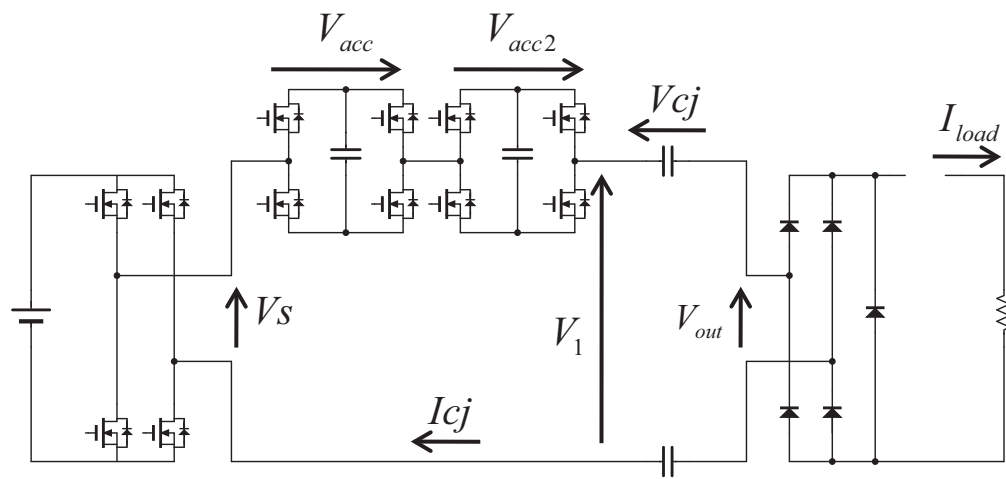




アクティブキャパシタ2個接続時のシミュレーション波形

➤アクティブキャパシタ2個接続時のスイッチングパターンの条件

- ① 電源電圧 V_s の立下りが各アクティブキャパシタのオン期間の中心に来る
- ② インバータ合成電圧 V_1 の切り替わりの間隔が一定である



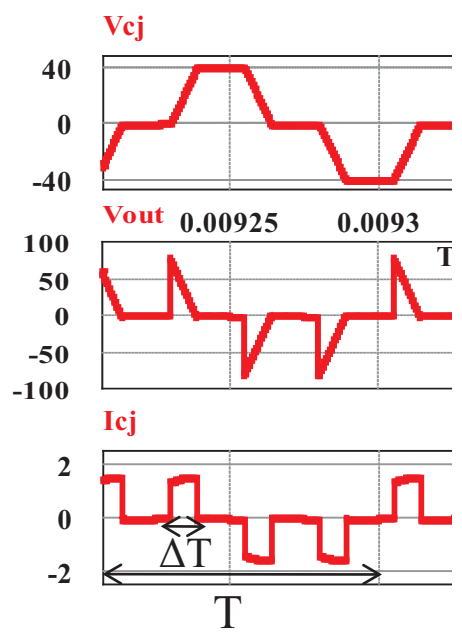
負荷電流の理論値の算出

$$I_{load} = \frac{V_{out}}{R} \cdot \cdot \cdot (1) \quad V_{out} = \frac{2\Delta T}{T} \times E \cdot \cdot \cdot (2)$$

I_{cj}の通流時間の割合

$$I_{cj} = C_j \times \frac{\Delta V}{\Delta T} \cdot \cdot \cdot (3)$$

V_{out} : 負荷に掛かる平均電圧
(2)と(3)を(1)に代入



アクティブキャパシタ接続前	アクティブキャパシタ接続
$I_{load(0)} = \frac{4EC_j}{I_{load}T} \times \frac{E}{R}$	$I_{load(n)} = \frac{4(n+1)EC_j}{I_{load}T} \times \frac{E}{R}$
$I_{load(0)} = \sqrt{\frac{4E^2C_jf}{R}}$	$I_{load(n)} = \sqrt{n+1} \sqrt{\frac{4E^2C_jf}{R}}$

$$\underline{I_{load(n)} = \sqrt{n+1} I_{load(0)}}$$

出力電力 $W = I_{load}^2 R$

↓

$$W_{(0)} = 4E^2C_jf$$

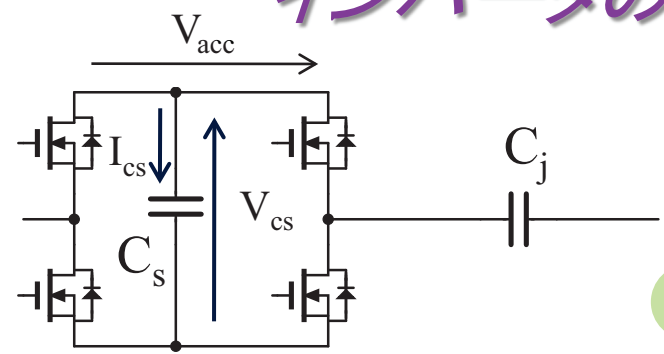
$$W_{(n)} = 4(n+1)E^2C_jf$$

$$\underline{W_{(n)} = nW_{(0)}}$$

負荷電流はアクティブキャパシタ接続により $\sqrt{n+1}$ 倍となる

出力電力はアクティブキャパシタ接続により n 倍となる

アクティブキャパシタ部の インバータの直流キャパシタの電圧変動



アクティブキャパシタ $\xrightarrow{\text{キャパシタとして働く}}$ 電圧源をキャパシタに置き換えることが可能

電圧変動が大きい \rightarrow インバータとして動作しない

C_s の電圧変動が小さくなるように設計する

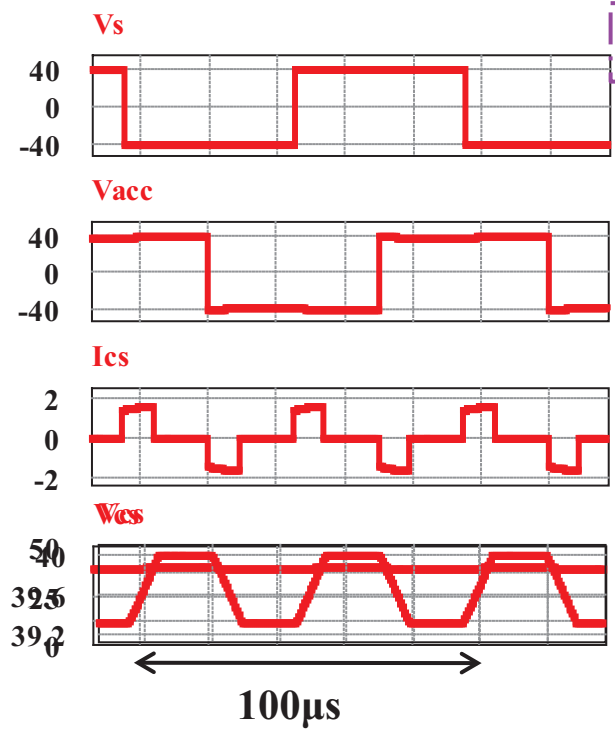
電圧変動はキャパシタと反比例の関係にある

C_s と C_j の電圧比は α で表わされる $\alpha = \frac{C_s}{C_j}$

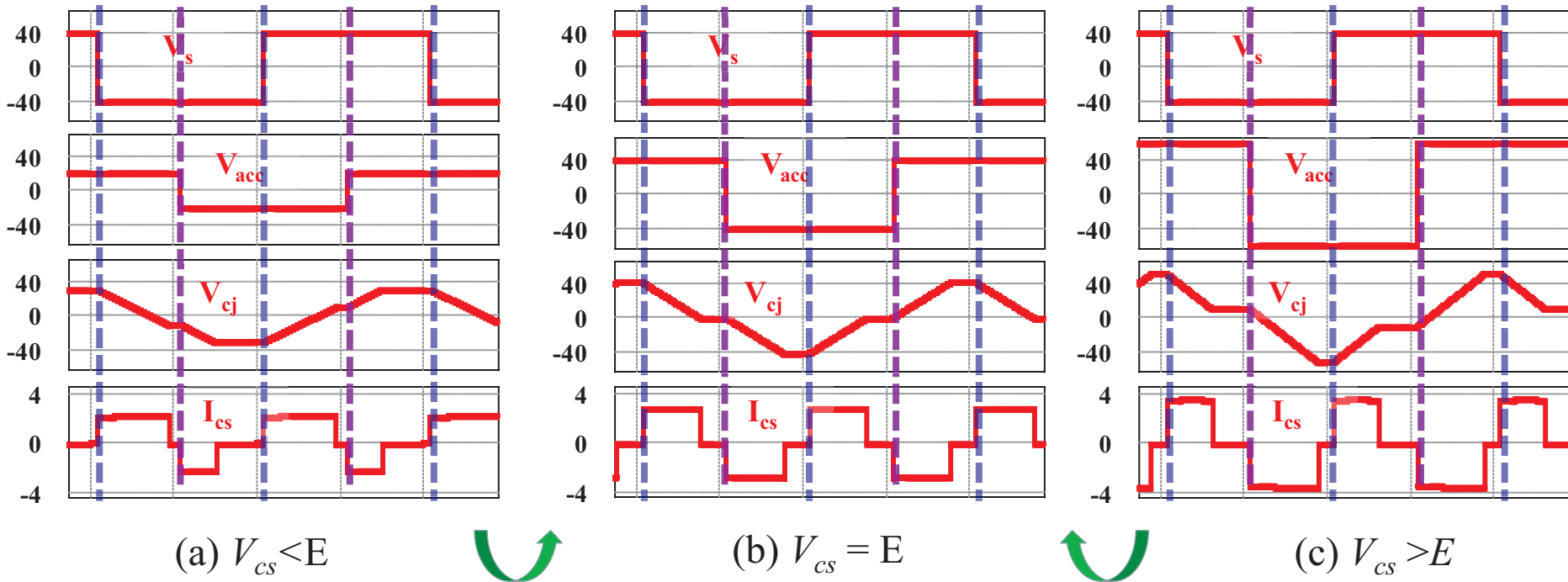
C_s の電圧変動 ΔV_{cs} \Rightarrow $\Delta V_{cs} = \frac{2E}{\alpha}$

例えば $C_j = 200\text{nF}$ $C_s = 20\mu\text{F}$ $E = 40\text{V}$ $\Delta V_{cs} = 0.8\text{V}$

この場合、インバータは問題なく動作する



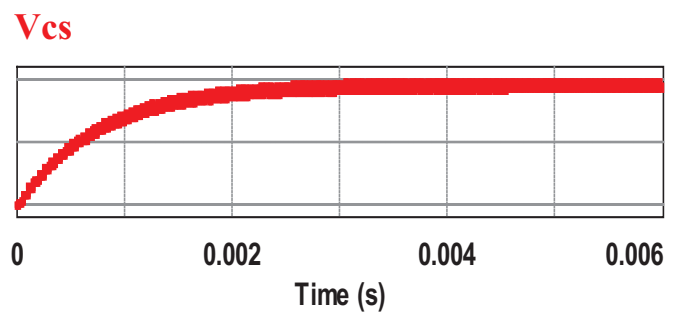
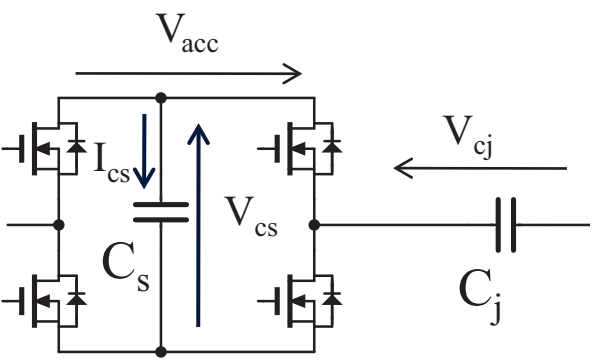
アクティブキャパシタ部の直流キャパシタの電圧維持及び初期充電



平均電流が正 → V_{cs} 増加

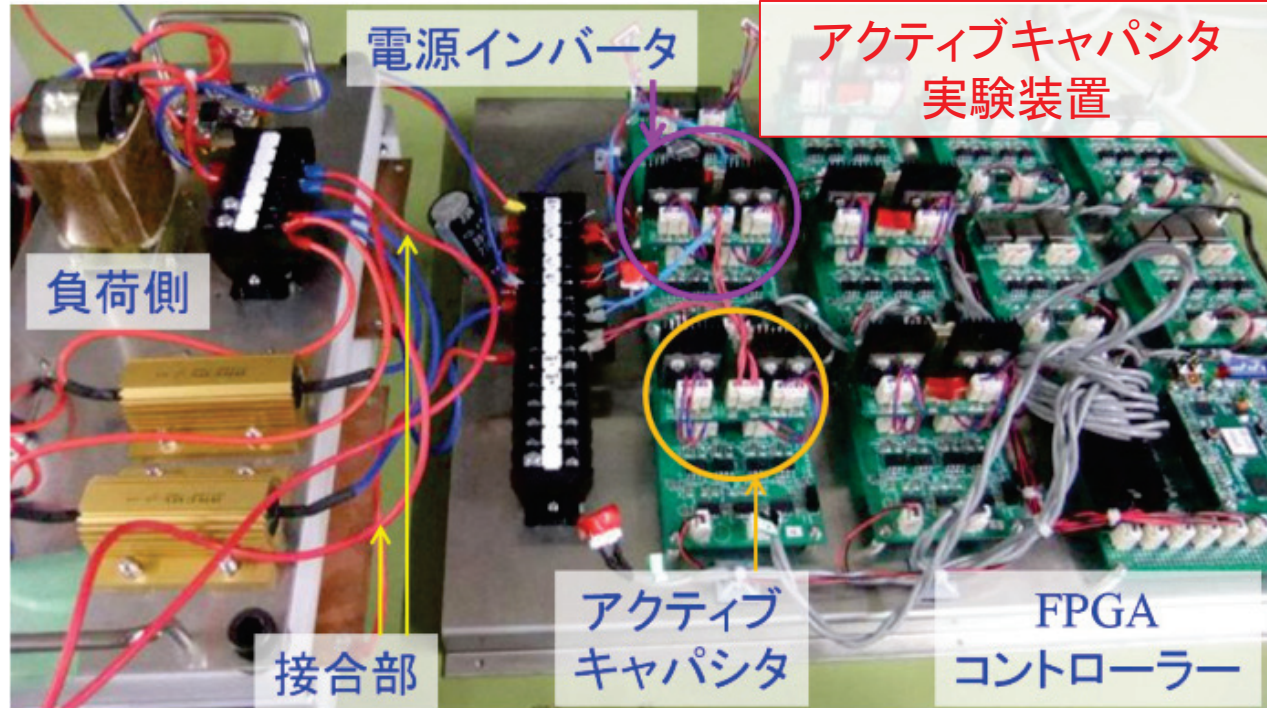
平均電流が零 → **定常状態**

平均電流が負 → V_{cs} 減少

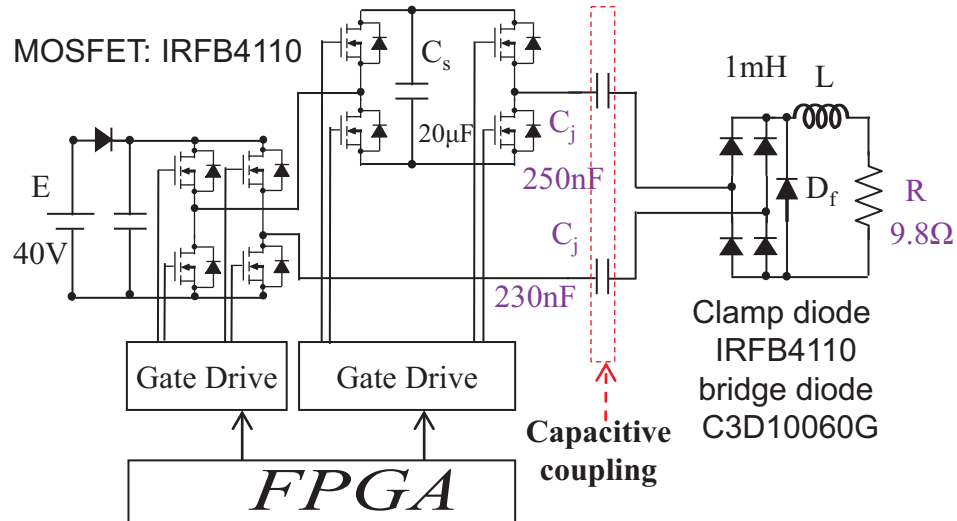
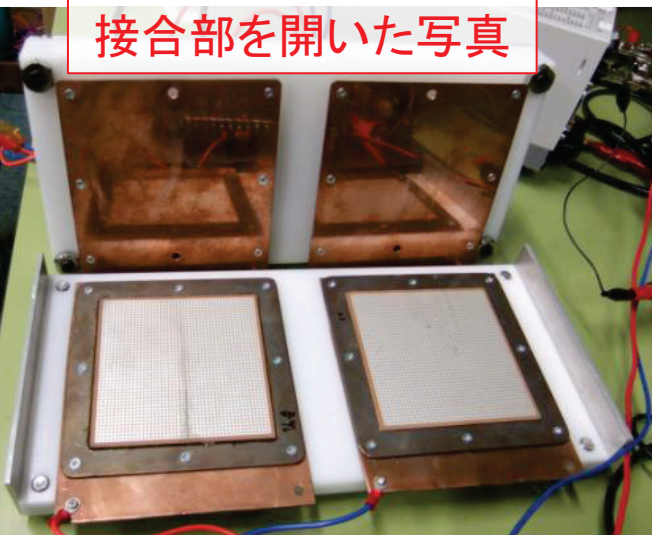


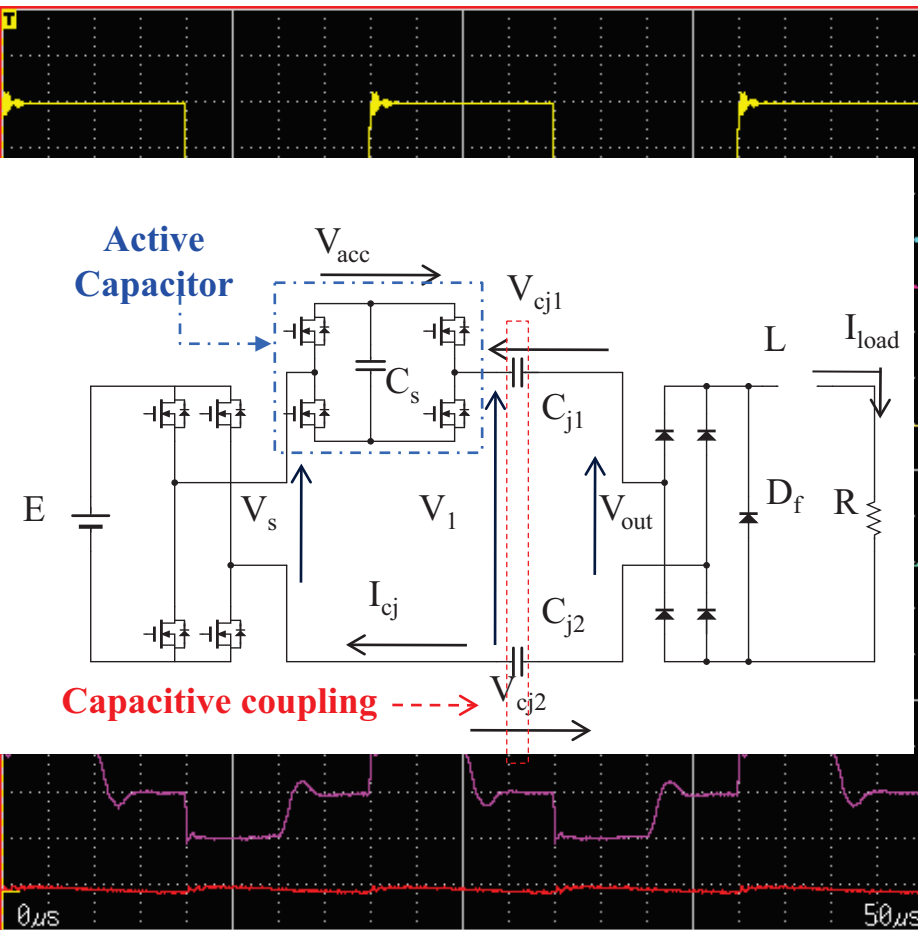
$V_{cs}=0$ の条件でも電圧維持のメカニズムは働き、自動的に $E=V_{cs}$ まで充電される

実験報告

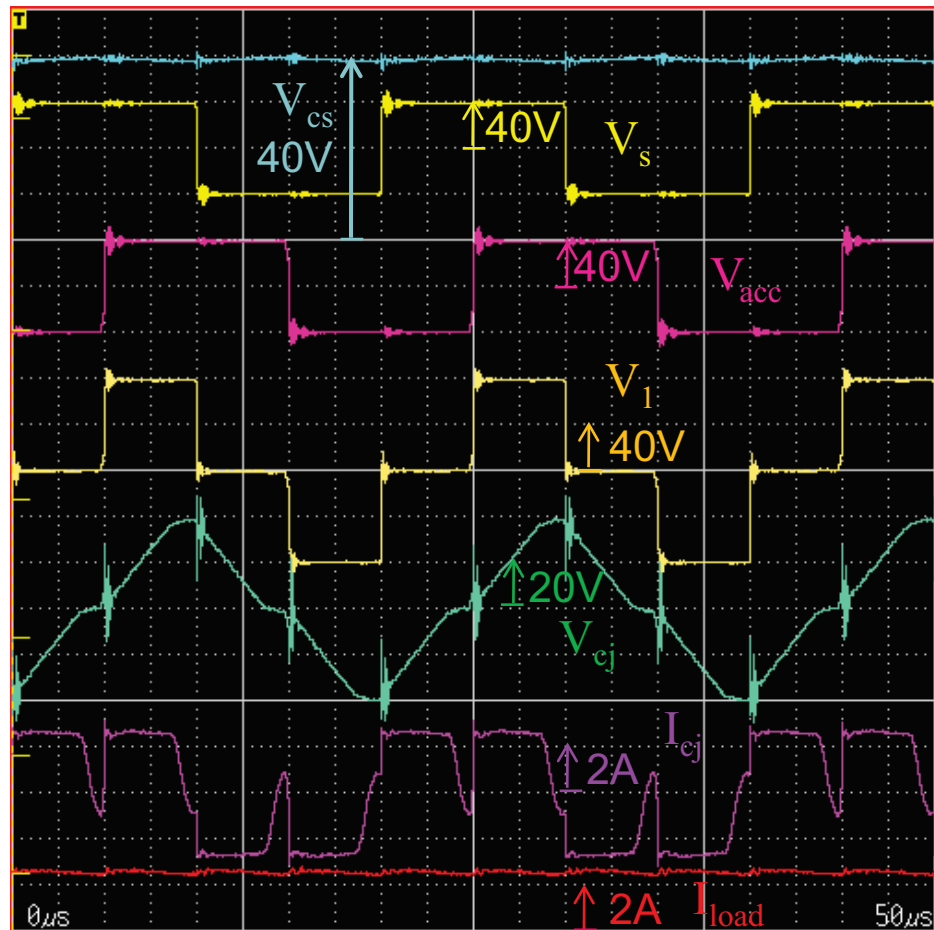


接合部を開いた写真



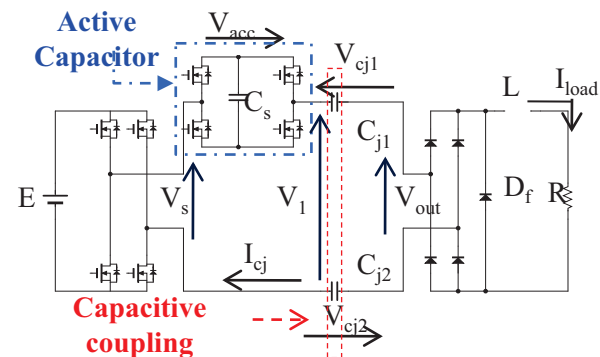


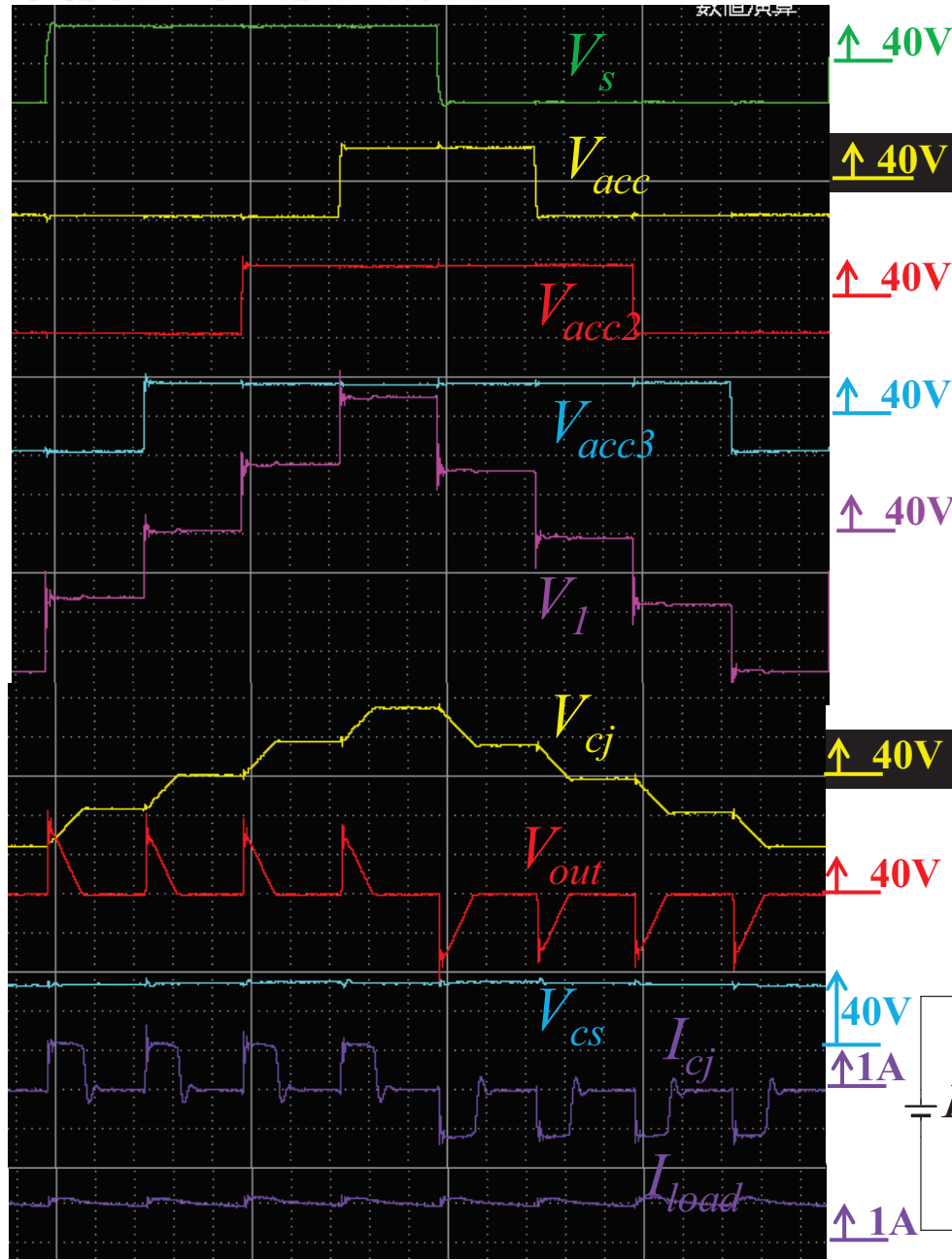
アクティブキャパシタ接続前



アクティブキャパシタ接続後

シミュレーション同様の波形を観測



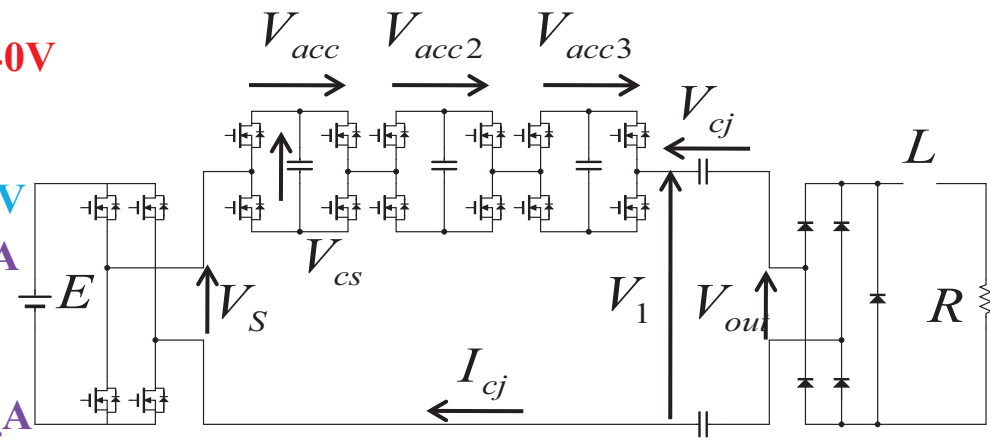


アクティブキャパシタ3段

実験波形

- V_1 は5levelとなる
- 電流通流回数が8回となる
- 電流通流時間が増える

➤ 負荷電流の増加



連続モード時の実験波形

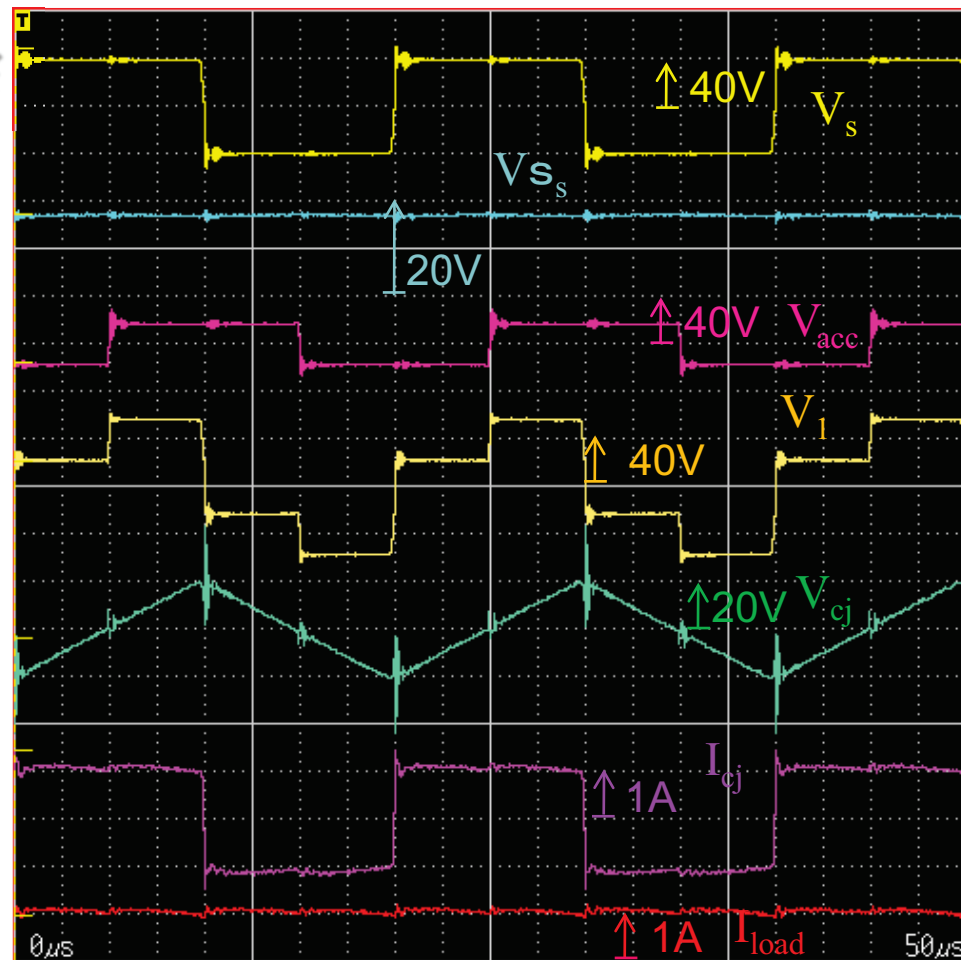
アクティブキャパシタ接続時

負荷 $R=9.8\Omega$

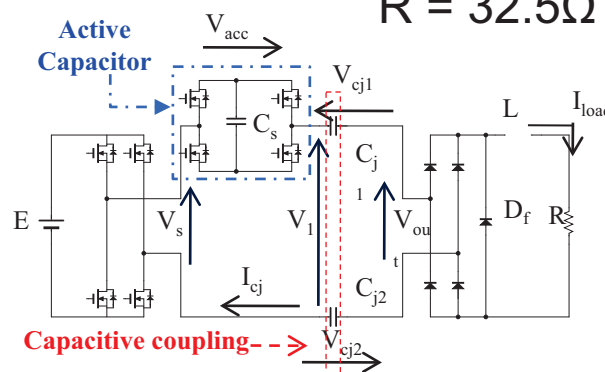


負荷 $R=32.5\Omega$
に変更して実験

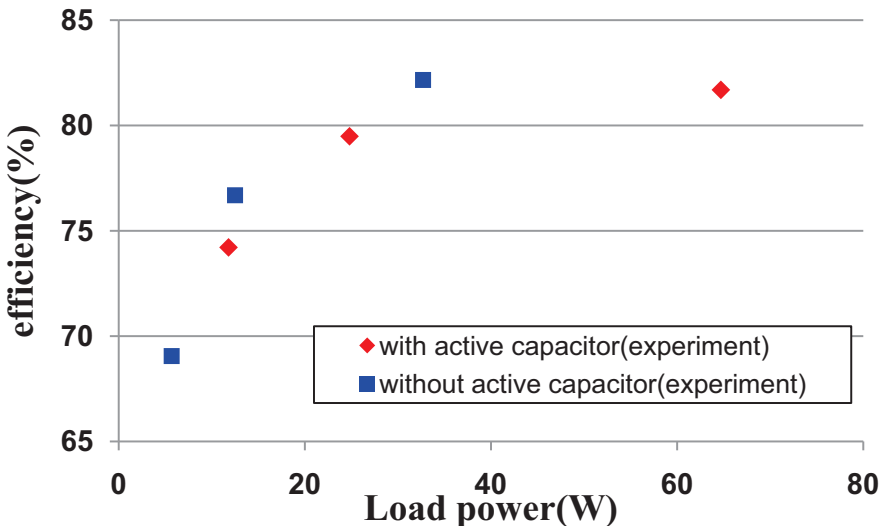
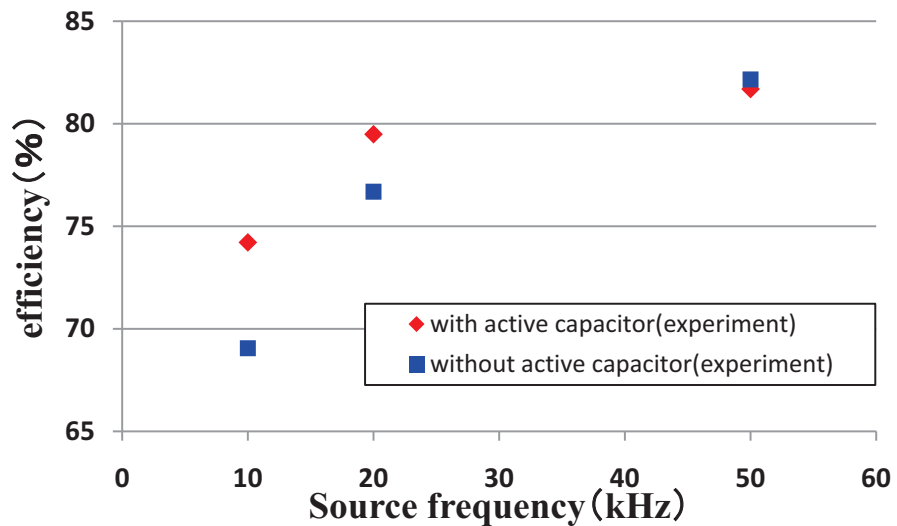
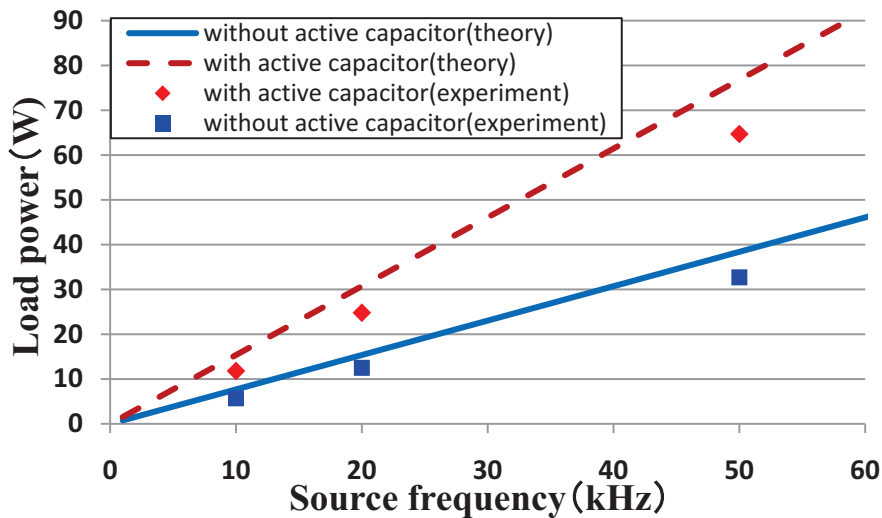
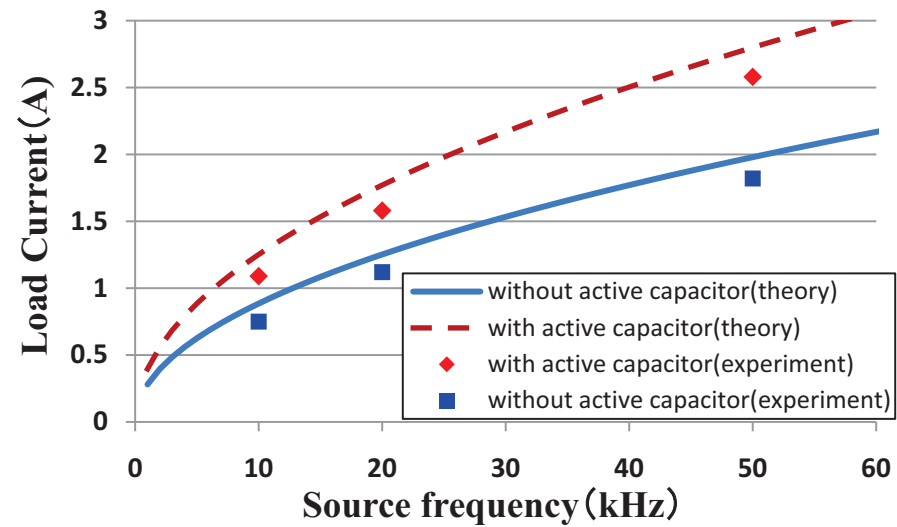
- ▶ I_{cj} が方形波であるため連続モードである
- ▶ 負荷を変えて連続モードとなっても不連続モードと同様の制御で問題なく動作する
- ▶ 連続モード時、接合部の電圧 V_{cj} は連続となるよう動作する。
負荷を軽くする
⇒ 負荷電流値が下がる
⇒ 接合部の電圧変化の傾きが緩くなる
⇒ V_1 の電圧は下がる必要があり、それに伴い V_{cs} も自動的に電圧が下がる



$R = 32.5\Omega$

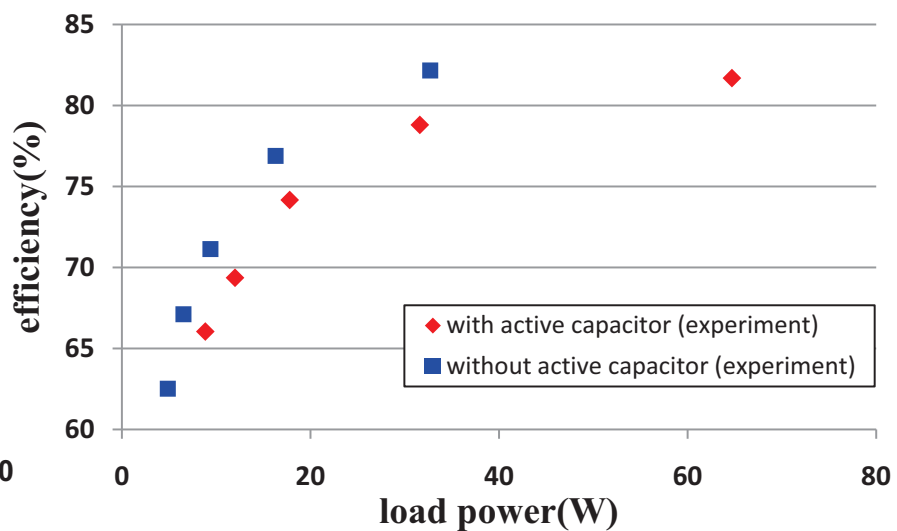
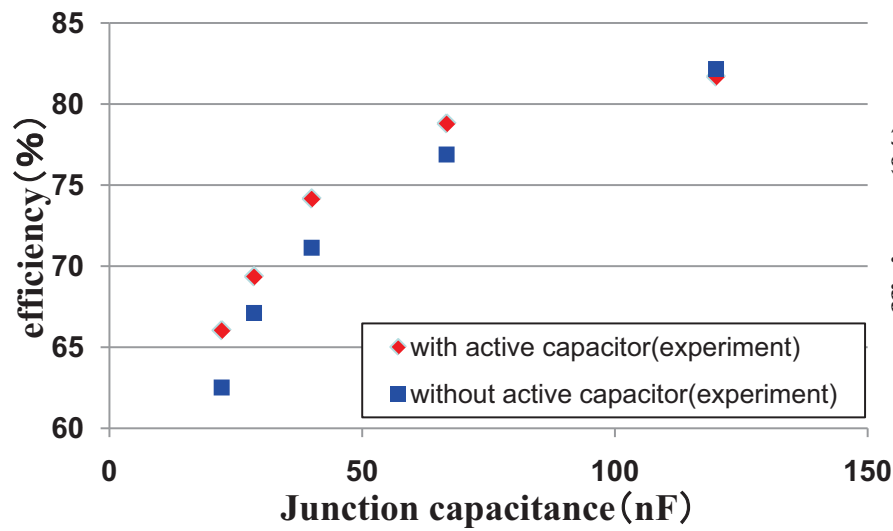
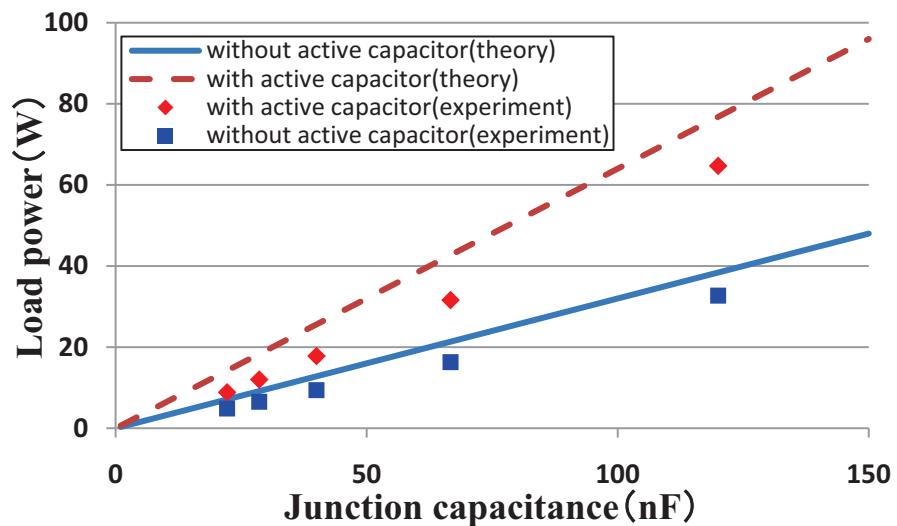
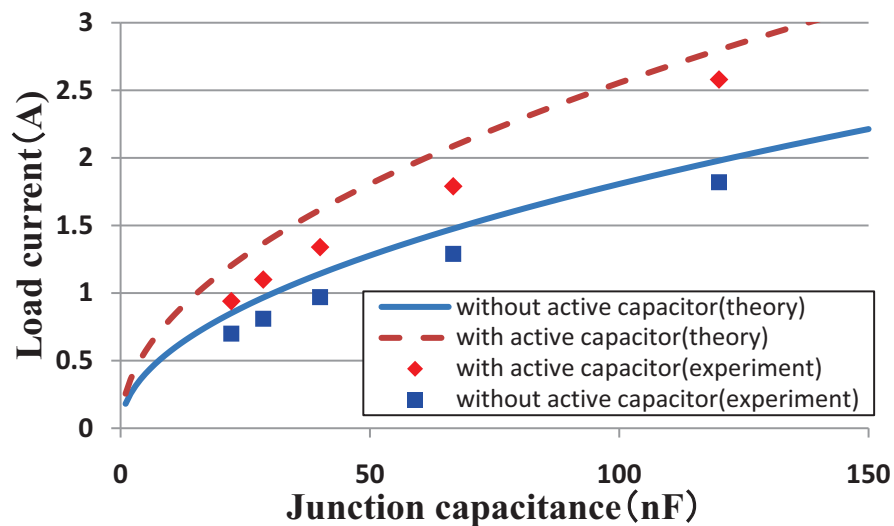


パラメータ変動に対する特性検証



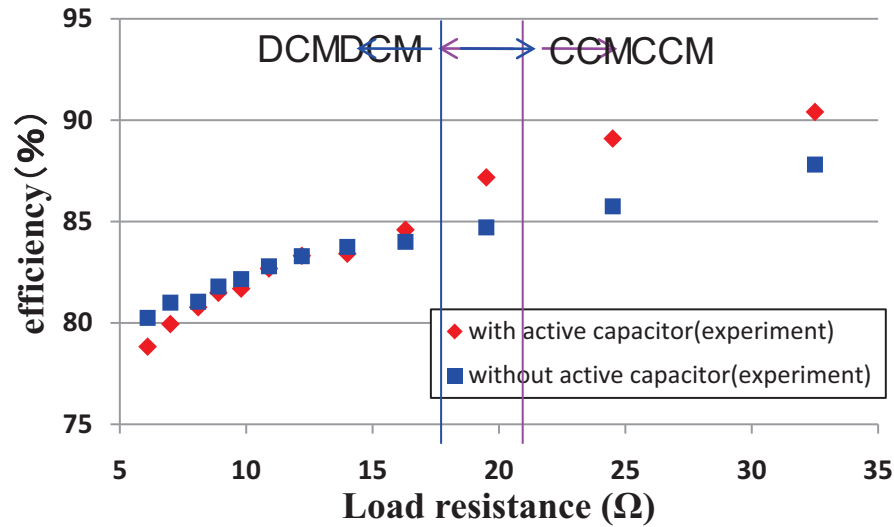
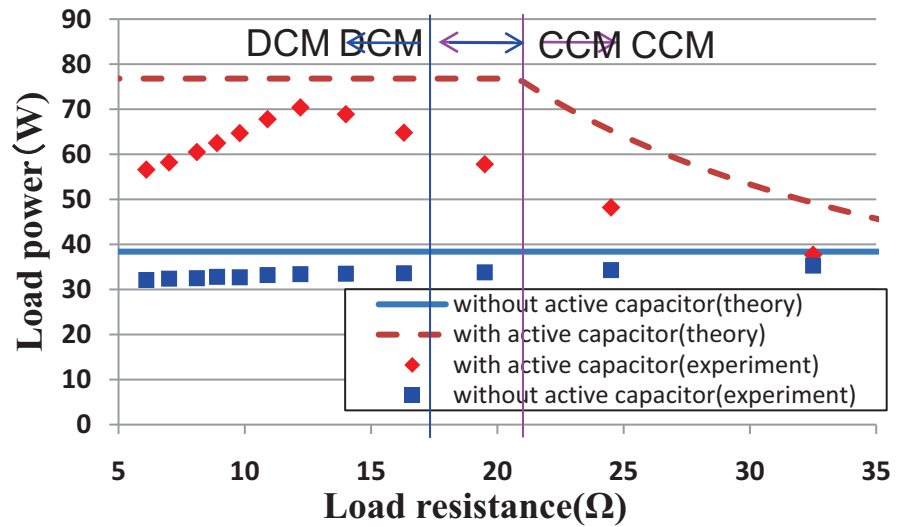
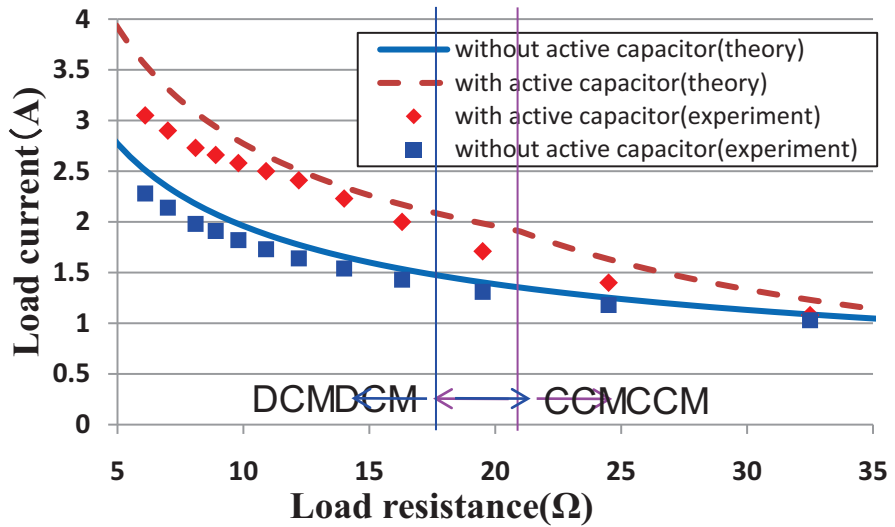
電源周波数変動に対する諸特性

$R=9.8\Omega$ $C_j=120\text{nF}$ 固定



接合容量変動に対する諸特性

R=9.8Ω f=50kHz固定



CCM: continuous current mode
 DCM: discontinuous current mode
 *ただし今回はアクティブキャパシタ接続時に限る

負荷変動に対する諸特性

f=50kHz C_j=120nF固定

- 非接触電力給電の3つの方法
- 電界結合非接触給電の特徴
 - 省資源
 - 軽量・位置決め自由度大
 - × 伝送電力密度小
- 伝送電力の増大法
 1. 電圧振幅増加
 2. 共振の利用
 3. 負のキャパシタンスの利用→第三の道
- 負のキャパシタンスとは？

- ワンパルススイッチアクティブキャパシタ(OPPSAC)の提案

 - 周波数依存性無

 - 完全センサレス

 - 無フィードバック制御→本質的安定

- 非接触給電実験の成功

 - 無補償時と比較して最大6倍の電力伝送

 - スイッチング周波数50kHz

 - 送電電力70W、最大効率84%

- 負荷変動等に対する伝送電力や効率の測定、理論値との比較検討

今後の展開

- ソフトスイッチング化や低損失デバイスの使用による高効率化の検討
- 3レベル化、多段化による送電電力の向上
- 回路集積化に向けた制御方式の検討
完全独立型、外部から制御信号無し
- 大電力化、負荷電圧制御、実機への適用