

コンピュータによるエネルギーロスの 無いスーパーキャパシタ制御技術

近畿大学 工学部 電子情報工学科
准教授 中田 俊司

持続可能社会への期待

風力発電や太陽光発電といった再生可能エネルギーが重要

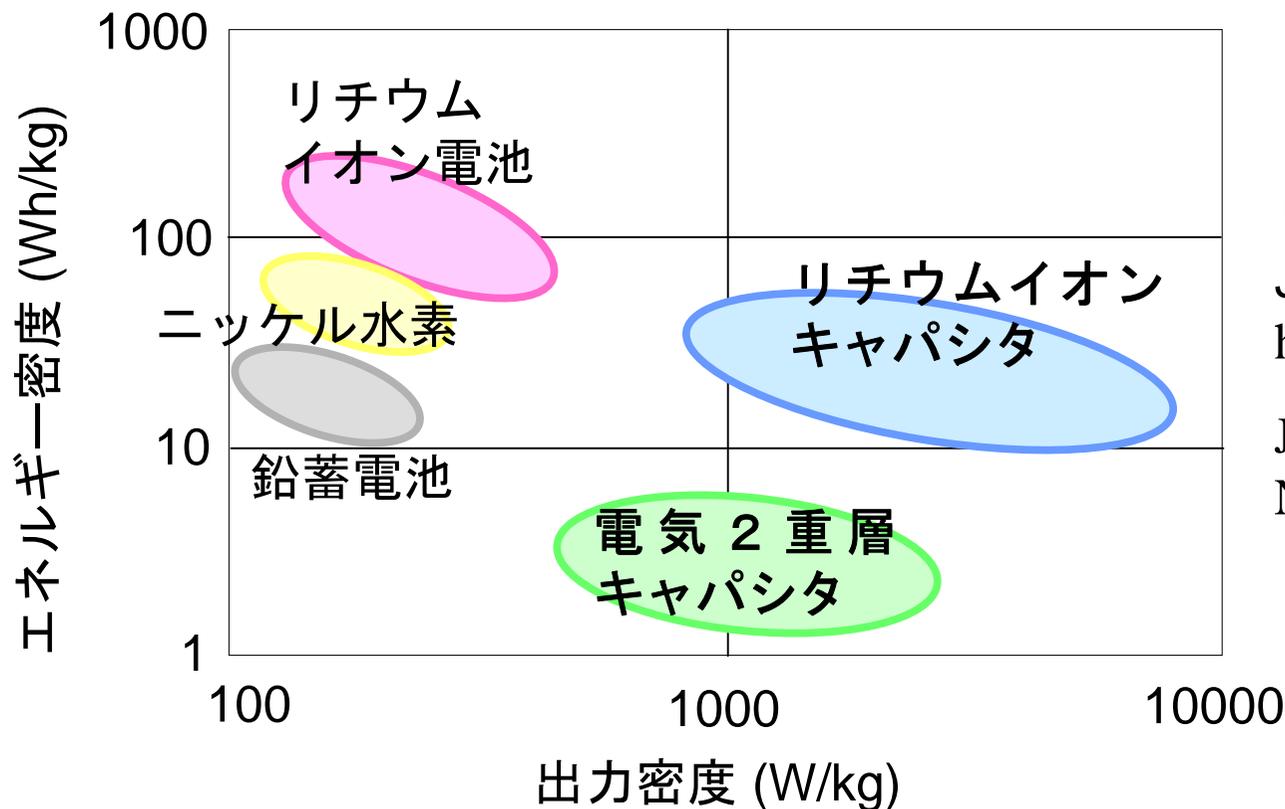


持続可能社会を実現するために、
スマートグリッドにおける蓄電が重要

蓄電デバイスの比較

スーパーキャパシタは出力密度が大きく、エネルギー平滑化に有望

なかでもリチウムイオンキャパシタは、比較的大きいエネルギー密度を持ち有望



出典

JMエナジー

<http://www.jmenergy.co.jp/>

JSR TECHNICAL REVIEW

No.116, p.39 (2009)

スーパーキャパシタの特徴

	リチウムイオンキャパシタ	リチウムイオンバッテリー
エネルギー密度	25 Wh/kg	100 Wh/kg
出力密度	3000 W/kg	300 W/kg
サイクル寿命	10^5	10^3
温度範囲	-20°C~80°C	-20°C~60°C

安全性: スーパーキャパシタの方がより安全

リチウムイオンバッテリーはエネルギー密度が高い

投資規模も大きく、スマートグリッドにおいて現在中心的な位置

一方スーパーキャパシタはバッテリーと比較し多くの長所を持ち、潜在的な能力が極めて高く市場拡大が予想されている

スーパーキャパシタの動向

2012年11月

マツダ 回生エネルギーを電気2重層キャパシタに蓄電

アテンザへの導入

i-ELOOP

世界初の乗用車への

実用化

他多くの車種への搭載

ロードスター



2013年 9月

ホンダ アイドリングストップシステムの蓄電デバイス
としてキャパシタを使用

フィット

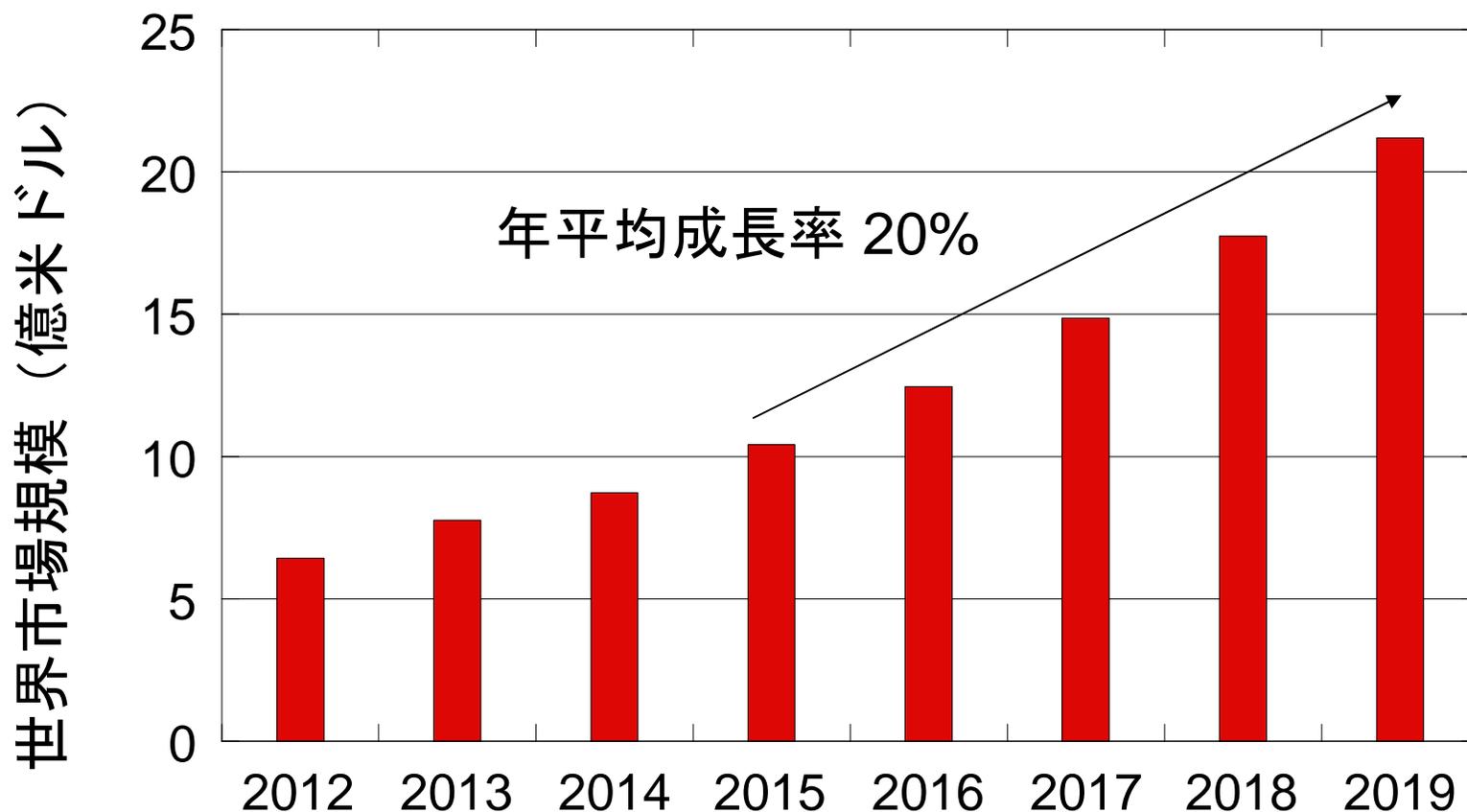
エンジン始動時、セルモータを駆動する
電力100%をキャパシタから供給

世界初



スーパーキャパシタの動向

国内は自動車用途の需要拡大が後押し 今後市場拡大が予想されている
世界の市場規模も、電車、バス、スマートグリッドなどで今後需要拡大

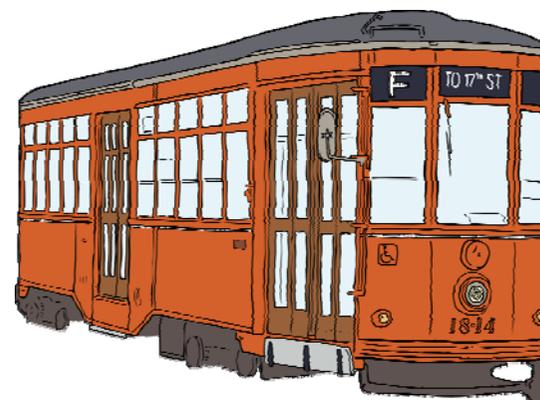


出典 Supercapacitors: Technology Developments and Global Markets 発行: BCC Research
<http://www.gii.co.jp/report/bc144341-glob-supercapacitor.html>

電車・バスへの応用

架線レス車両の開発は各国
の鉄道技術開発のトレンド

台湾の高雄市に2015年12
月、キャパシタを蓄電装置と
した架線の無い路面電車が
開業予定 総延長22 km



出典 日本経済新聞 <http://www.nikkei.com/article/DGXMZO87637550T00C15A6000000/>

中国の浙江省寧波市に2015年
4月、キャパシタを主電源とした
路線バスが実用化

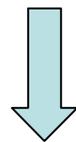


出典 人民網日本語版 <http://j.people.com.cn/n/2015/0417/c95952-8879859.html>

風力発電の状況

再生可能エネルギーの中で、太陽光発電と共に基軸
商用系統に接続するには、安定した電力の供給が
必須

リチウムイオン電池では充放電回数は1000回程度

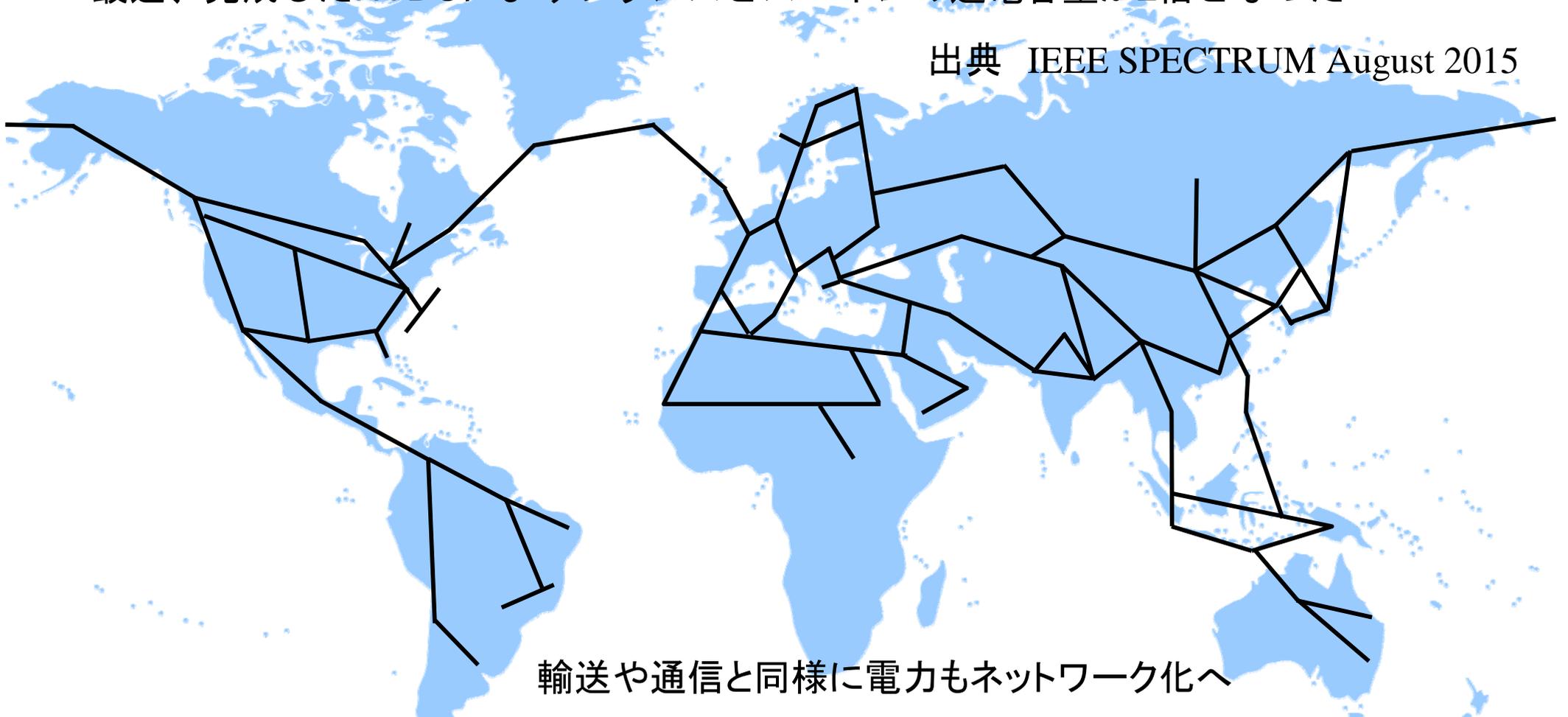


10万回以上の充放電が可能な
キャパシタによる電力の平準化が必須

スーパーグリッド

高圧直流送電(HVDC)のネットワークにより大陸間の電力の取引が可能に
最近、完成したHVDCによりフランスとスペインの送電容量が2倍となった

出典 IEEE SPECTRUM August 2015



輸送や通信と同様に電力もネットワーク化へ

キャパシタによる電力平準化は、HVDC上の送電ロス低減に
今後大きく貢献すると考えられる

蓄電デバイス制御技術

電源からキャパシタへ最も効率よくエネルギーを送電する最適方法

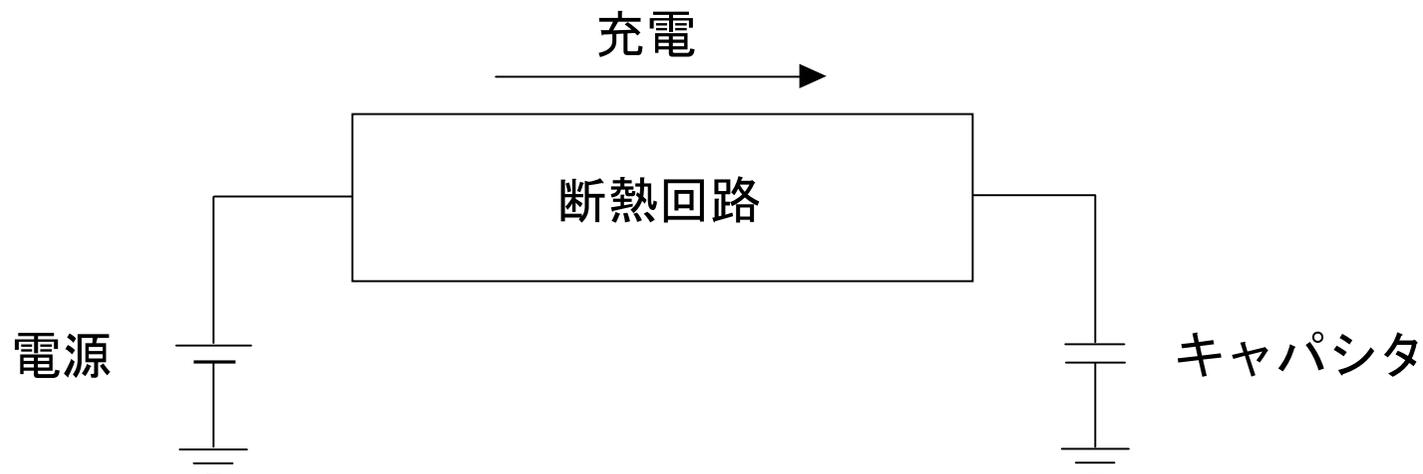
キャパシタを充電する魔法の手法: 断熱充電

定電圧による充電

キャパシタの蓄電エネルギーと同じ量のジュール熱を発熱

断熱充電

ジュール熱の発熱ゼロ エネルギー損失ゼロ

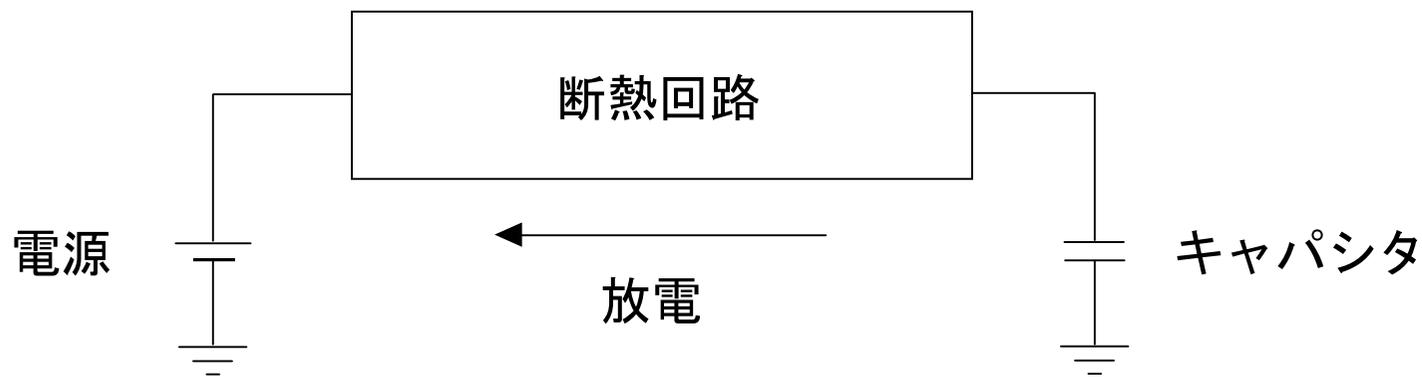


可逆動作

エネルギー損失を伴わない現象は可逆動作が可能

キャパシタから電源にエネルギーを損失ゼロで戻すことが可能

一方、揚水発電においては、外部からエネルギーを与えて水を汲み上げる必要がある

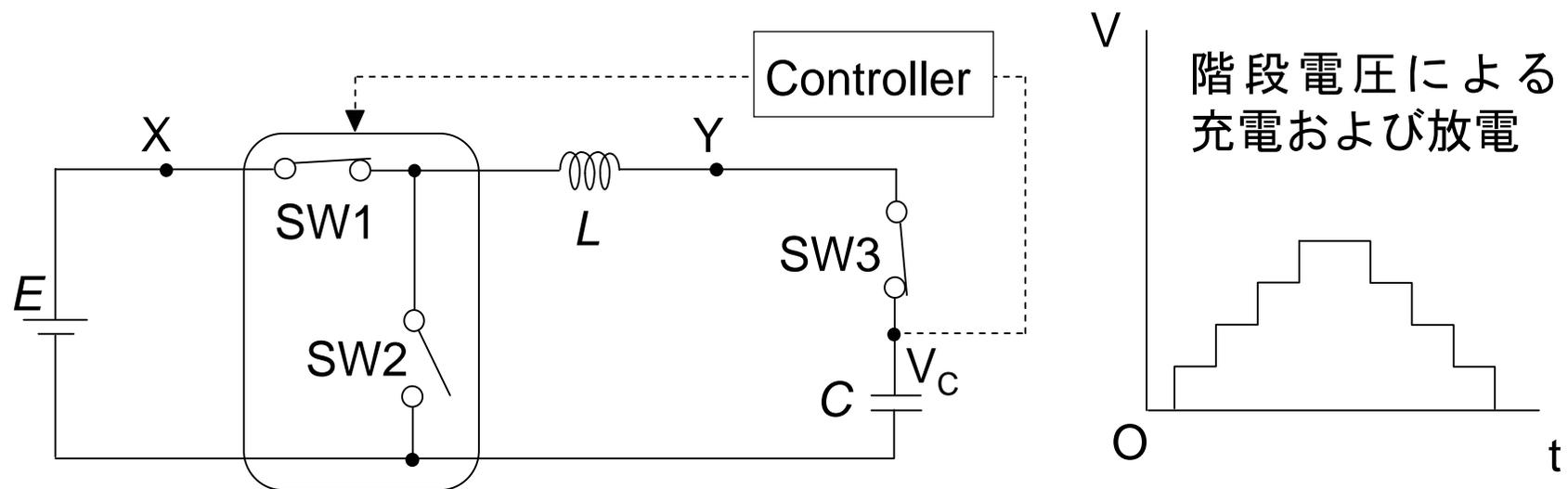


断熱回路の構成方法は？

インダクタ電流の制御による充電

デューティ比制御による階段電圧による充放電回路

この回路により、断熱充電と断熱放電が可能



充電時、緩やかな電流が、電源からキャパシタへ流れる。

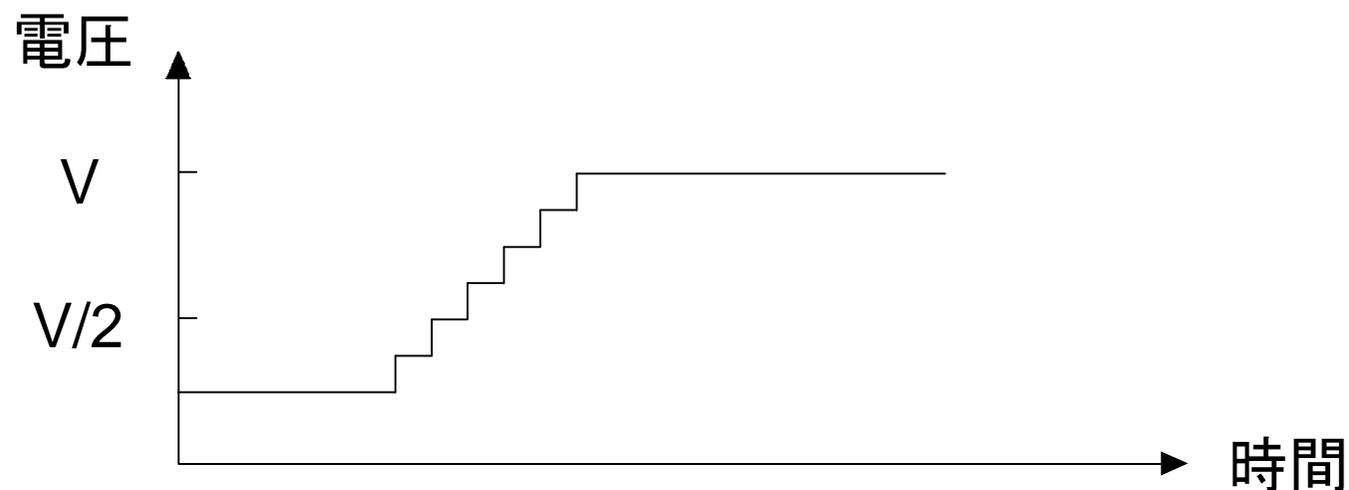
放電時、緩やかな電流が、逆方向に流れる。

蓄電技術の知的所有権

キャパシタの段階的充電による高効率蓄電

特許5303178

特許5483427



初期電圧から最終電圧までの充電を等間隔に段階的に充電する方法がエネルギー効率が最大

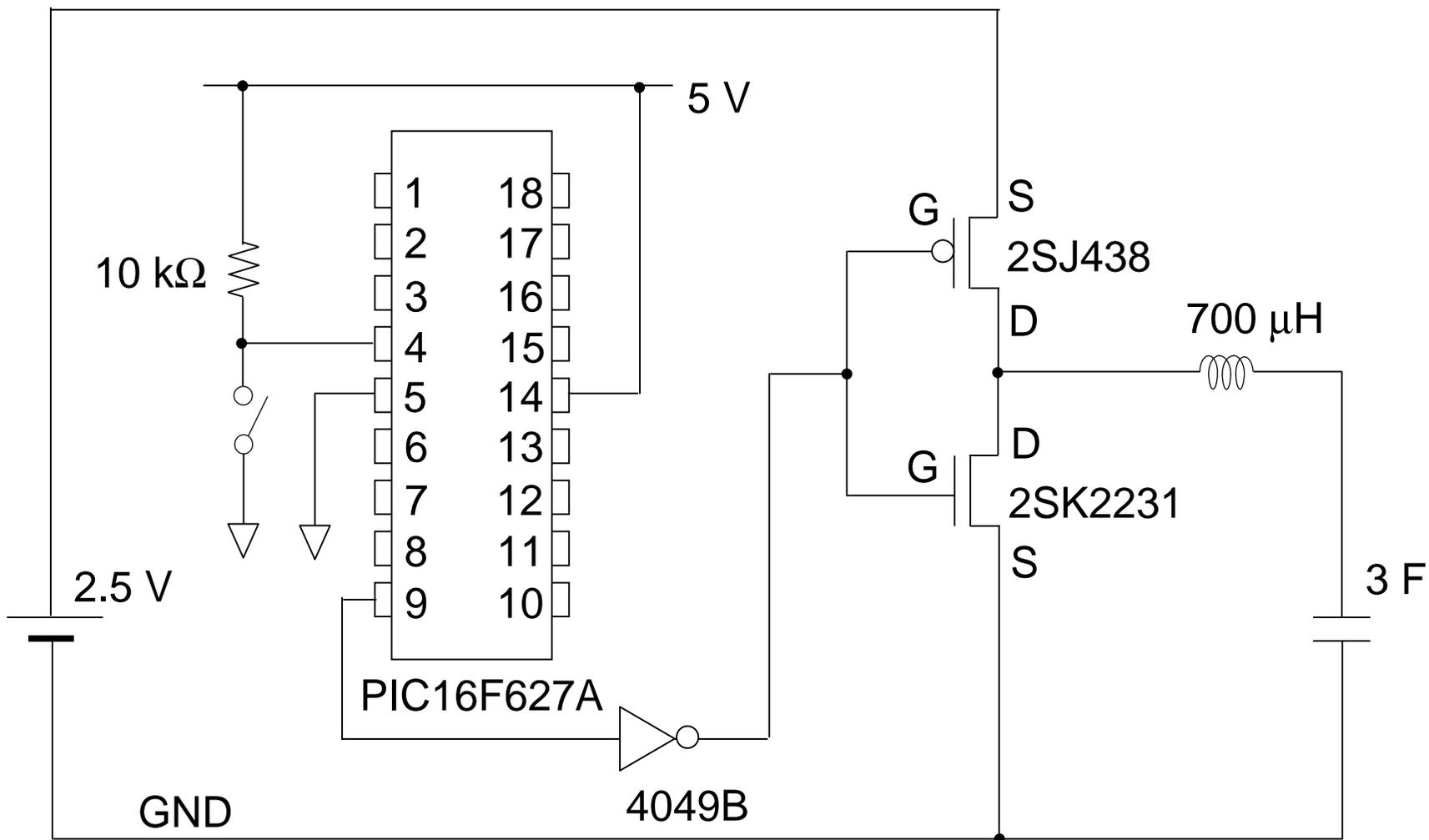
従来技術とその問題点

- これまでのキャパシタへの充電回路技術は、アナログ回路によるスイッチングトランジスタのON/OFFを切り替えるアナログ制御方式。
- この方式は、多くのアナログ回路を必要とし、回路構成が複雑でコストが高く、実装面積が大きくなるという問題点が発生。
- シャント抵抗による電流モニターのため、15年程度の長期信頼性を考慮すると、充電電流は100 Aが限界。

新技術の特徴・従来技術との比較

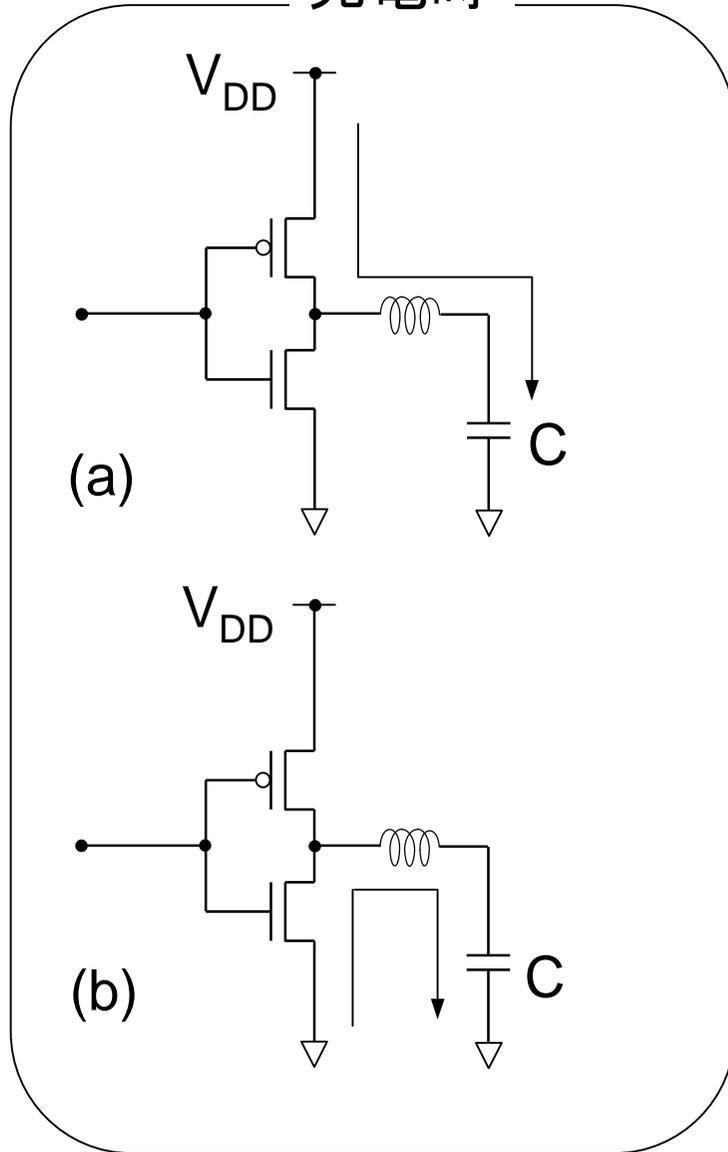
- デジタル方式により、充電電流を制御するために回路構成をコンパクトにでき、コストと実装面積を低減可能。
- シャント抵抗が不要となるために抵抗成分のジュール熱が大きく低減し、1000 Aの電流も制御可能であり、大電流高速充電に適する。

マイクロプロセッサを用いた回路構成

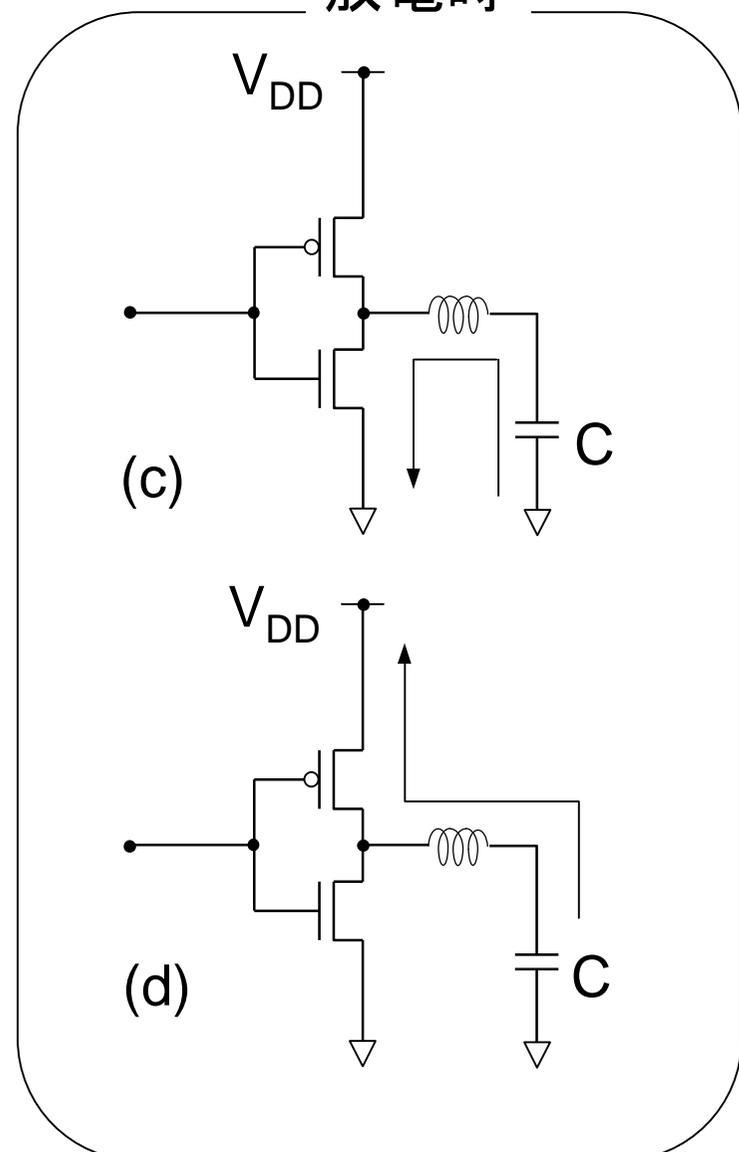


充電時と放電時の回路動作

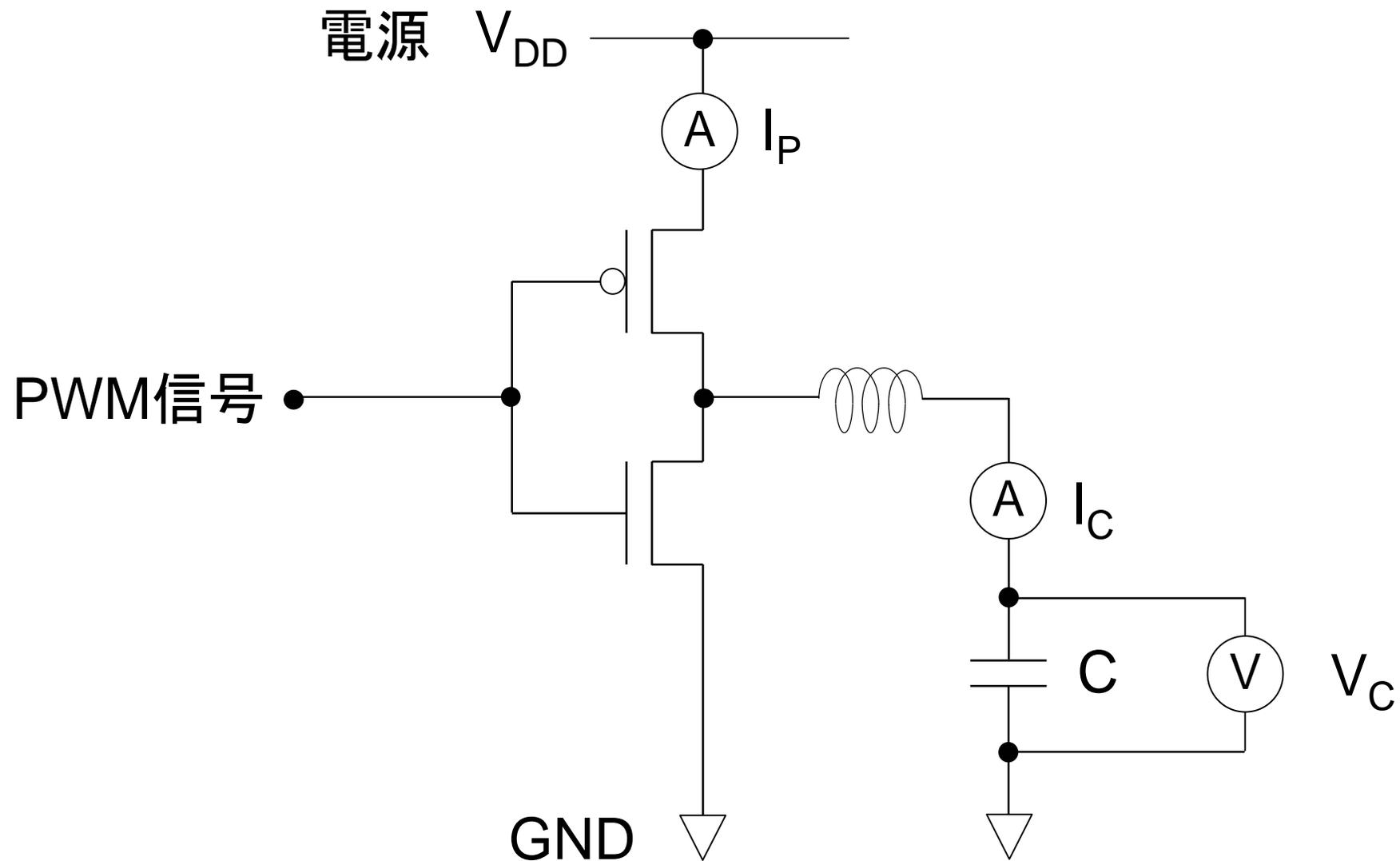
充電時



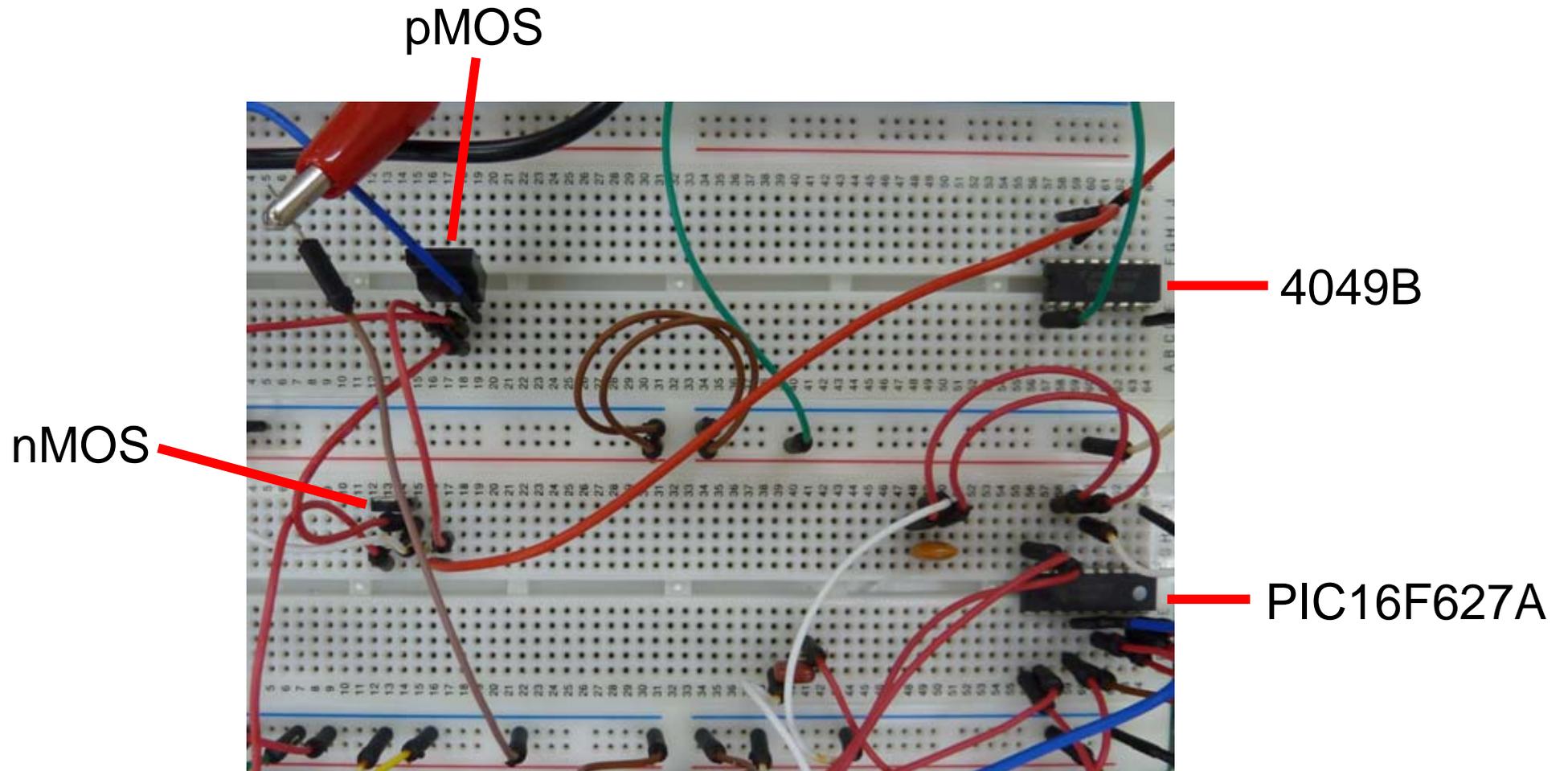
放電時



測定システム



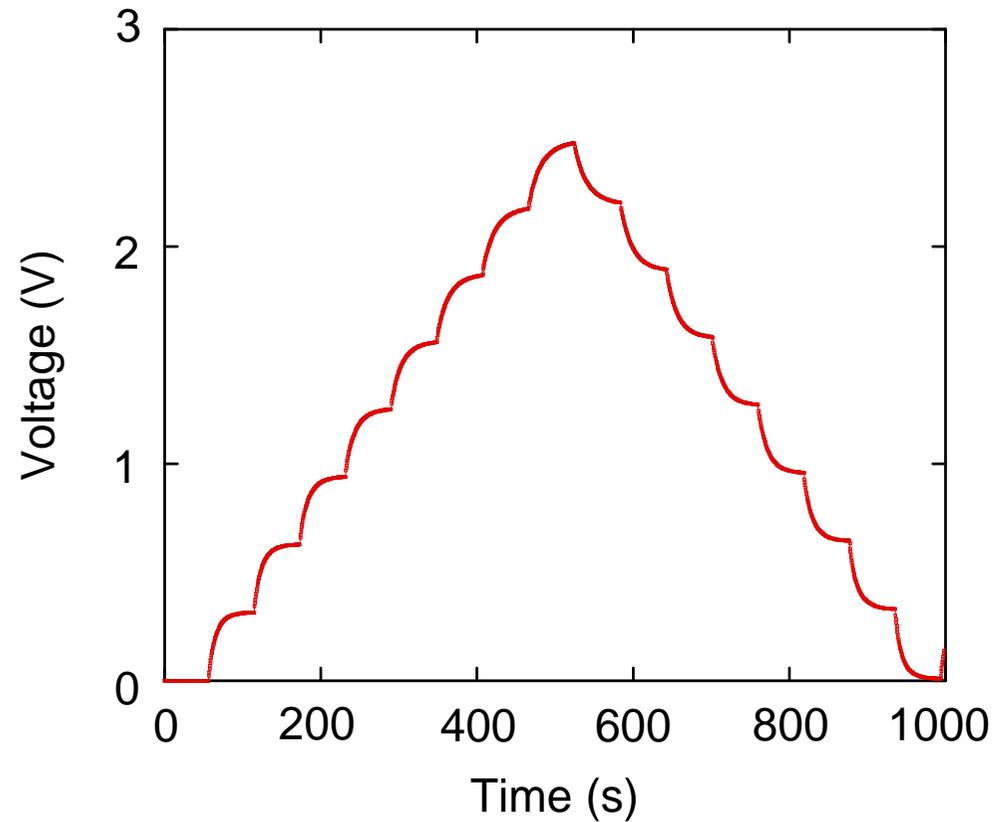
実験回路



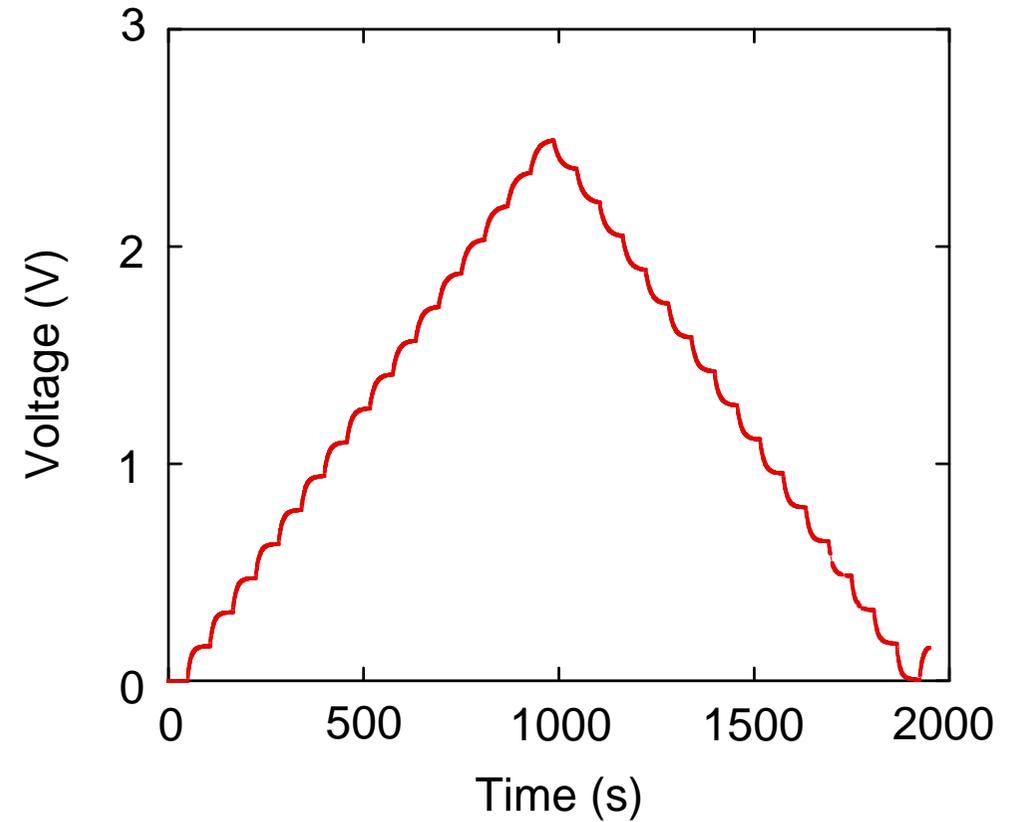
回路の実験結果

電圧 V_C

8ステップ



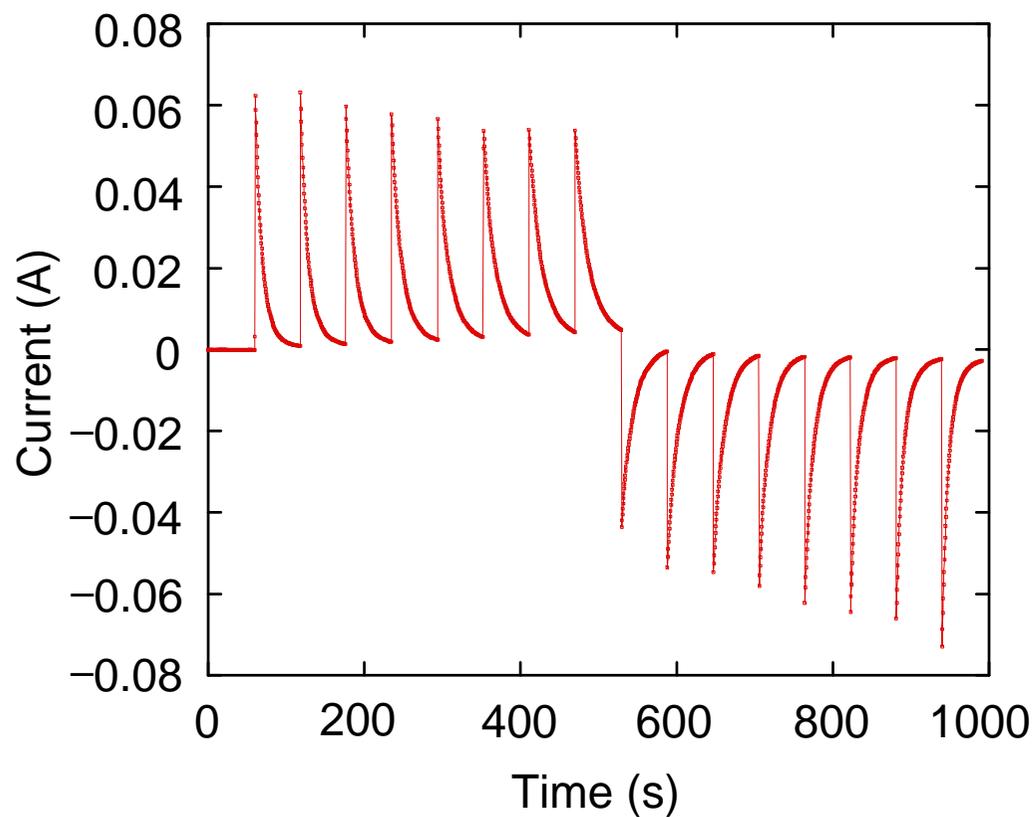
16ステップ



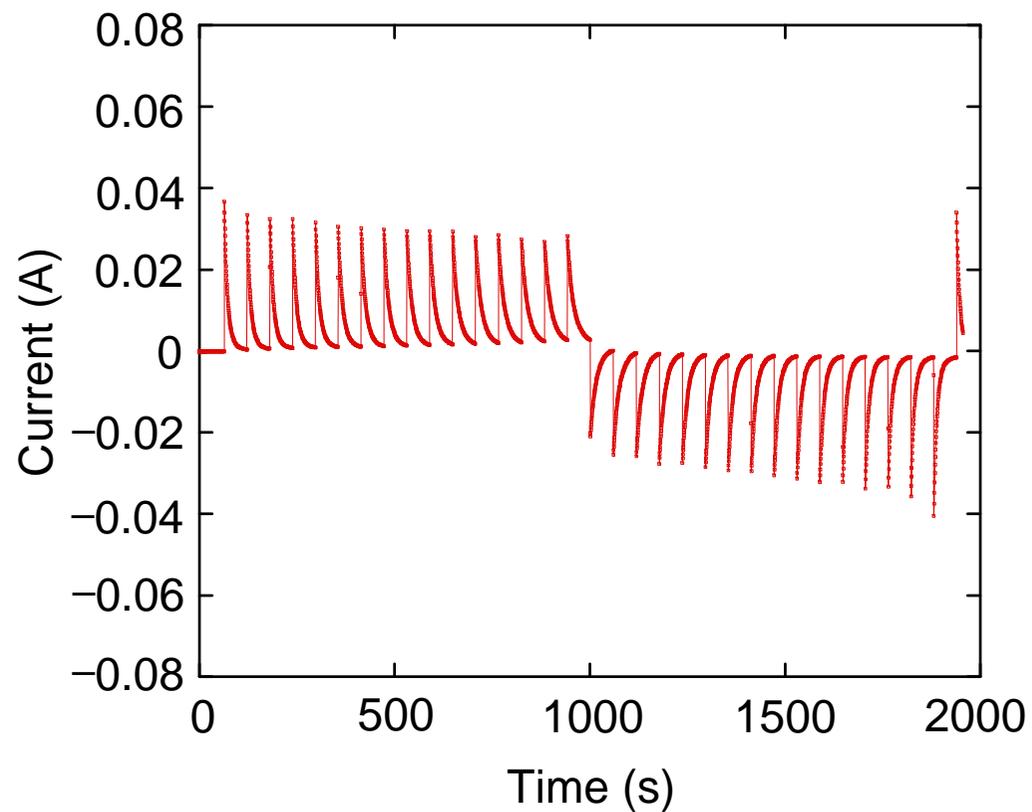
回路の実験結果

電流 I_C

8ステップ



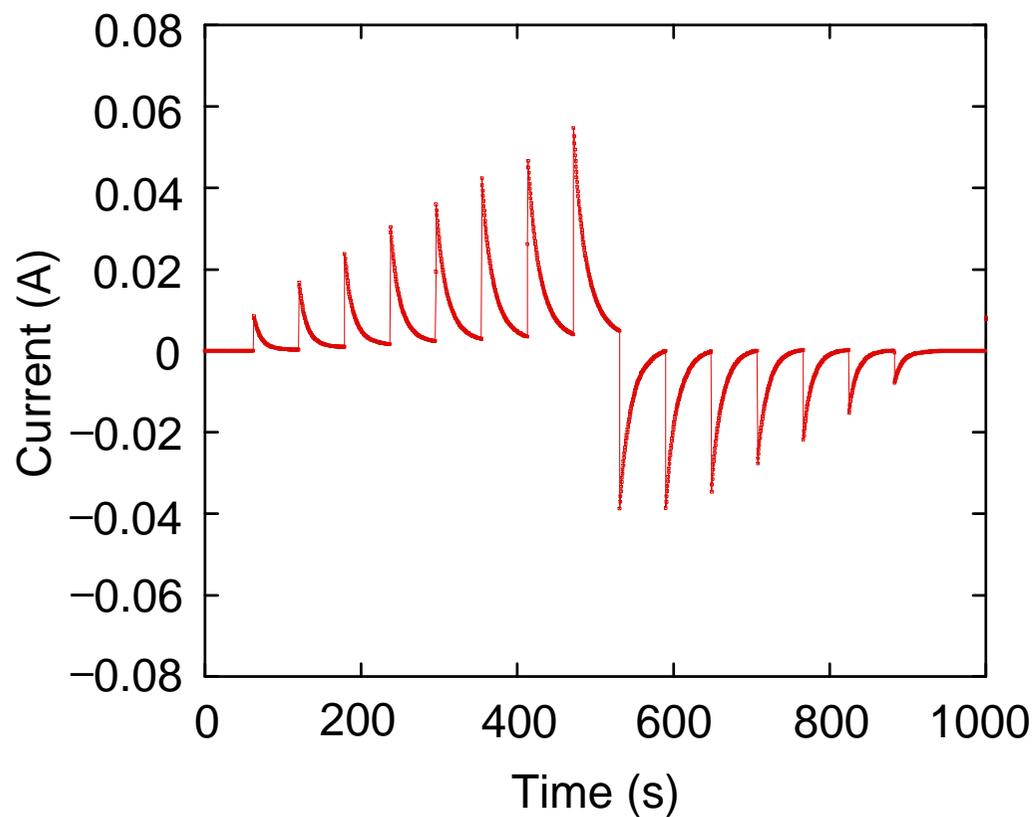
16ステップ



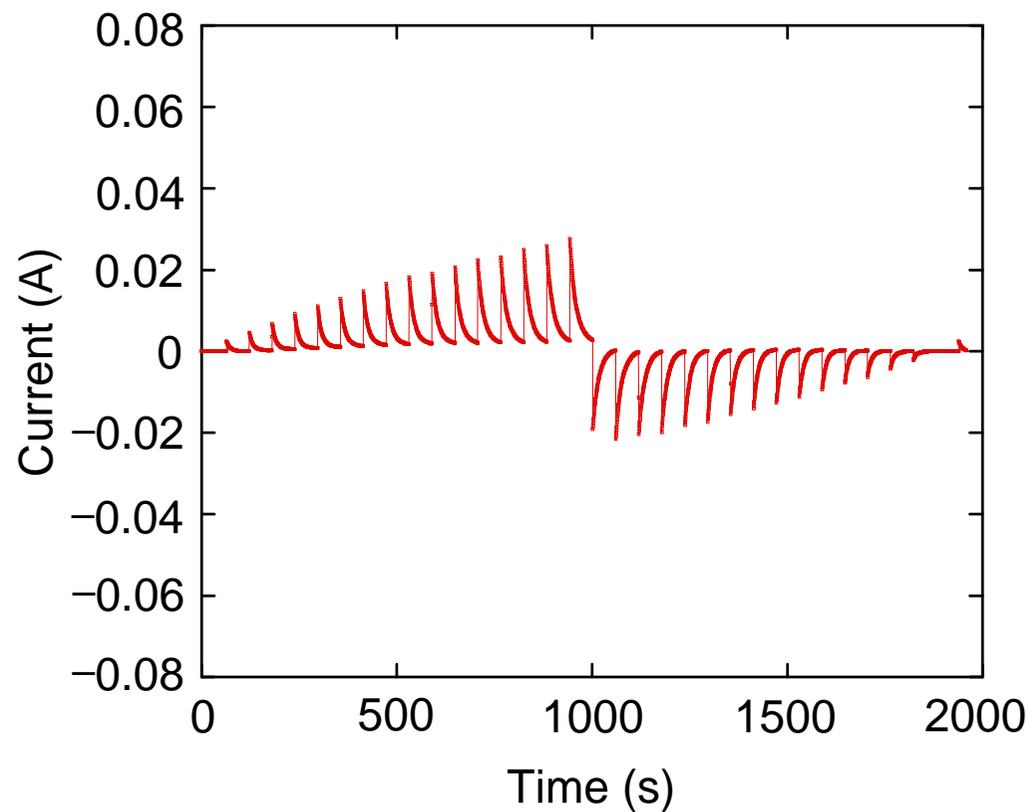
回路の実験結果

電流 I_P

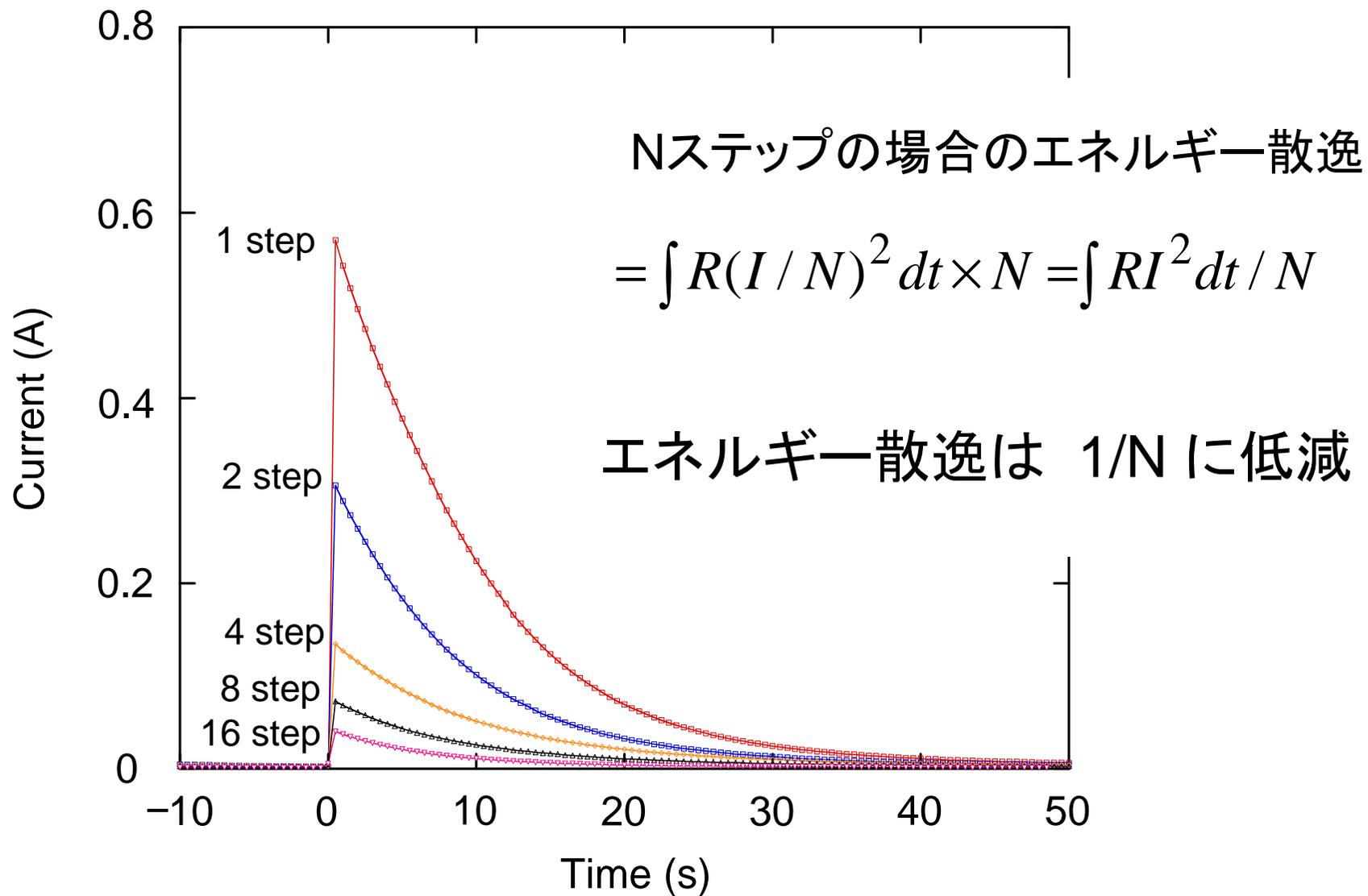
8ステップ



16ステップ



電流のステップ数依存性

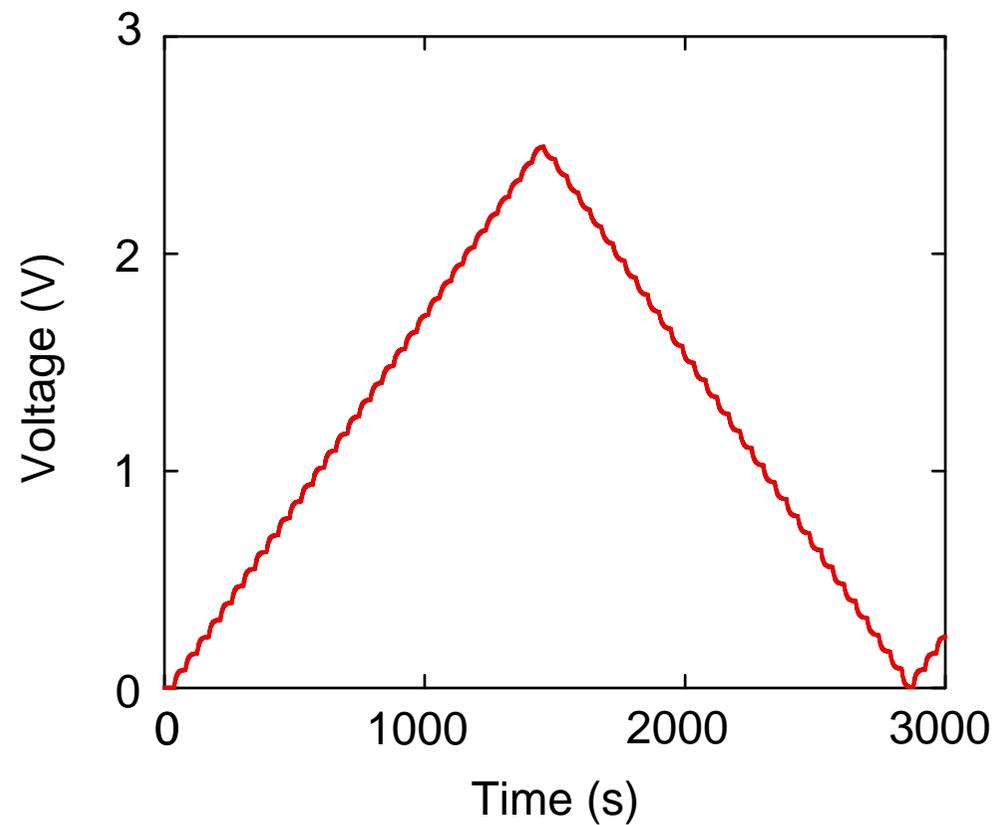
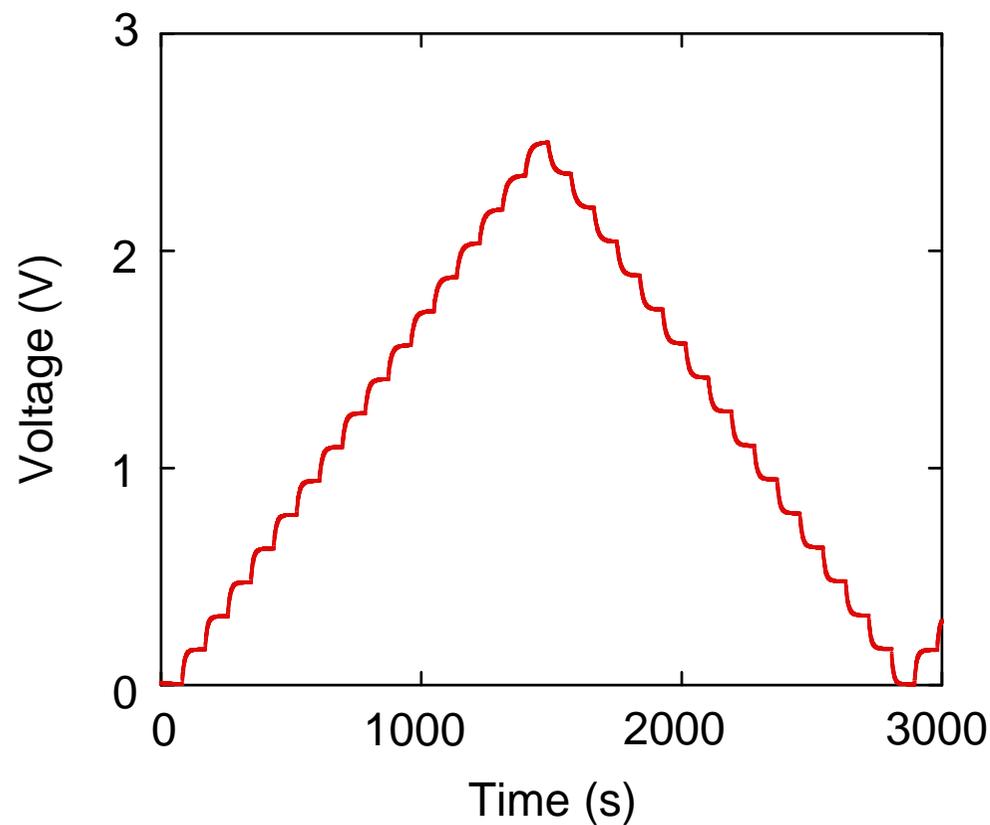


よりステップ数の多い場合の実験結果

電圧 V_C

16ステップ

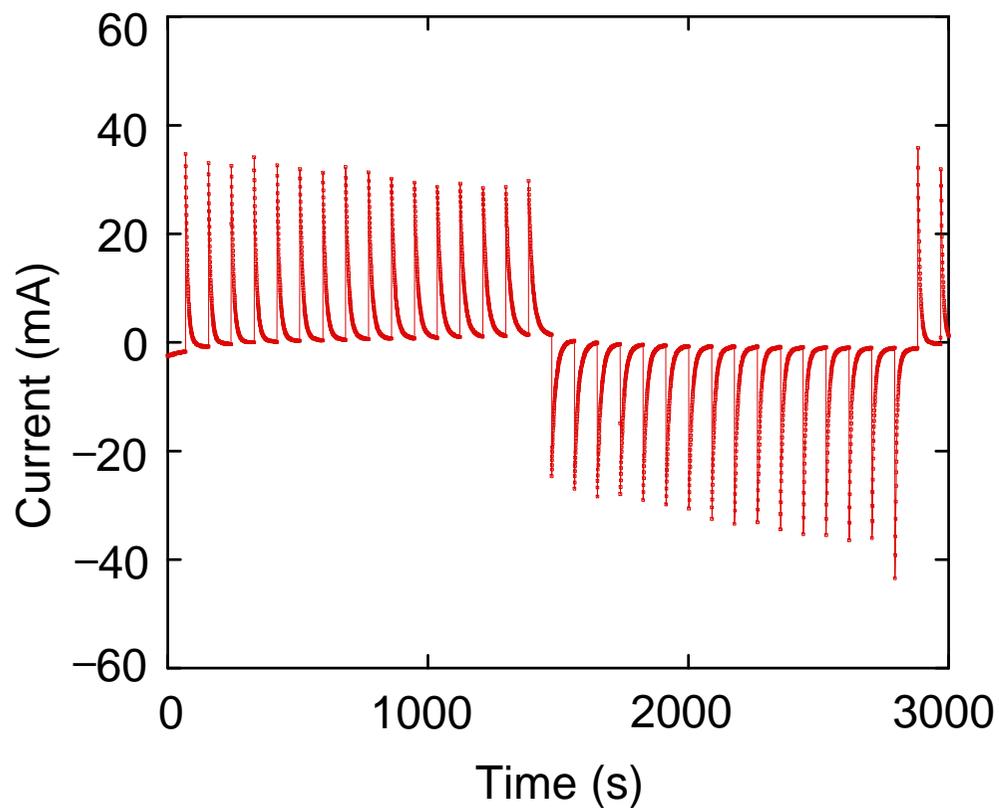
32ステップ



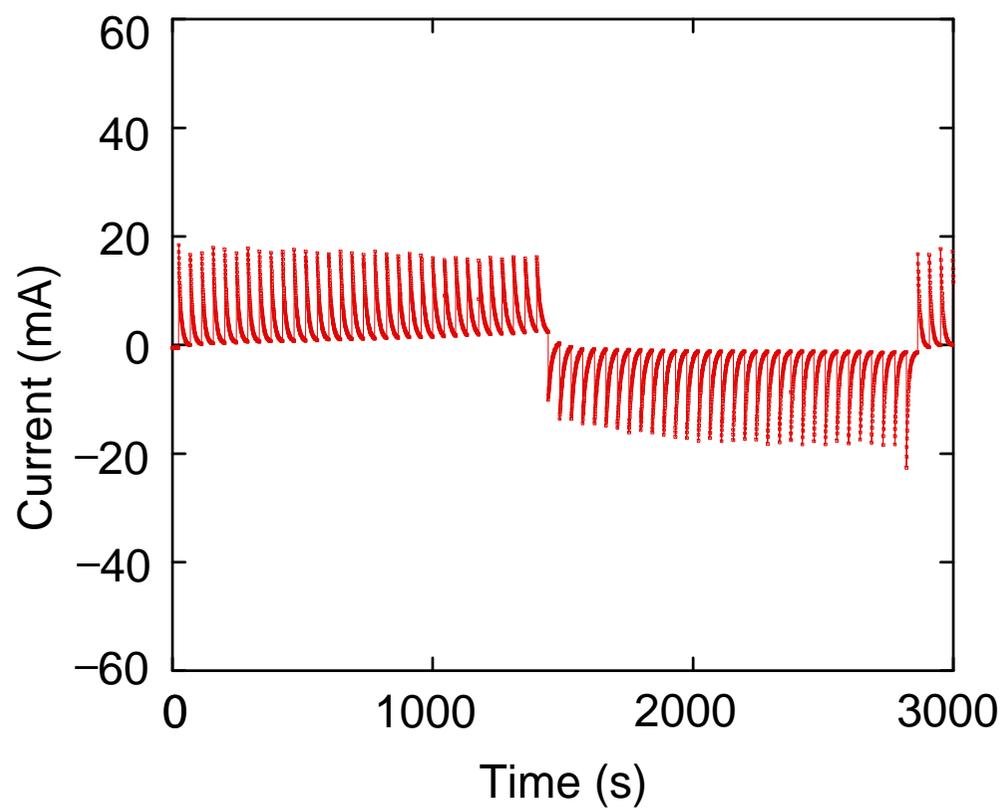
よりステップ数の多い場合の実験結果

電流 I_c

16ステップ



32ステップ



まとめ

1. マイクロプロセッサによりスイッチングトランジスタのデューティ比を変化させ、インダクタ電流を制御した断熱充電回路をボード上に実現。
2. 回路内の電流の測定から、Nステップ充電の場合にエネルギー散逸が $1/N$ となることを実証。

想定される用途

- スマートグリッドにおけるスーパーキャパシタへの蓄電に適用することで、デジタル充電による電力制御のメリットが大きいと考えられる。
- 電車や自動車に搭載されているスーパーキャパシタへの高速大電流充電への適用も期待される。

実用化に向けた課題

- 現在、1 A程度の電流で有効性を確認済み。しかし、1000 A程度以上の大電流について、これを可能とする実装化が未解決である。
- 今後、大電流に対応したトランジスタや基板を用いた回路について実験データを取得し、スマートグリッド内のスーパーキャパシタに適用していく場合の条件設定を行っていく。

企業への期待

- 大電流を扱う電力制御の技術を持つ企業との共同研究を希望。
- スーパーキャパシタへの蓄電システムを開発中の企業、スマートグリッド分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。
- 共同研究をとおして電力制御回路のプロトタイプを作成し、これをさらに発展させ早期実用化を模索していきたい。

お問い合わせ先

近畿大学 次世代基盤技術研究所
社会連携センター長 近村 淳

TEL 082-434 - 7000

FAX 082-434 - 7020

e-mail chikamura@hiro.kindai.ac.jp