

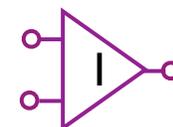
# 適応PWM方式SIDO電源回路の静特性

©白石尚也 小堀康功 堺昂浩

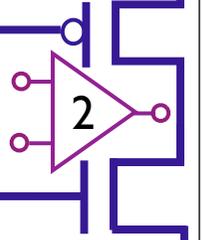
金谷浩太郎 田中駿祐 高井伸和 小林春夫 (群馬大学)

群馬大学 工学部 電気電子工学科

情報通信システム第2研究室

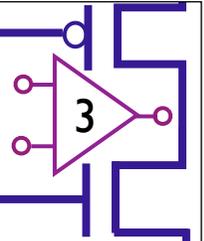


# OUTLINE



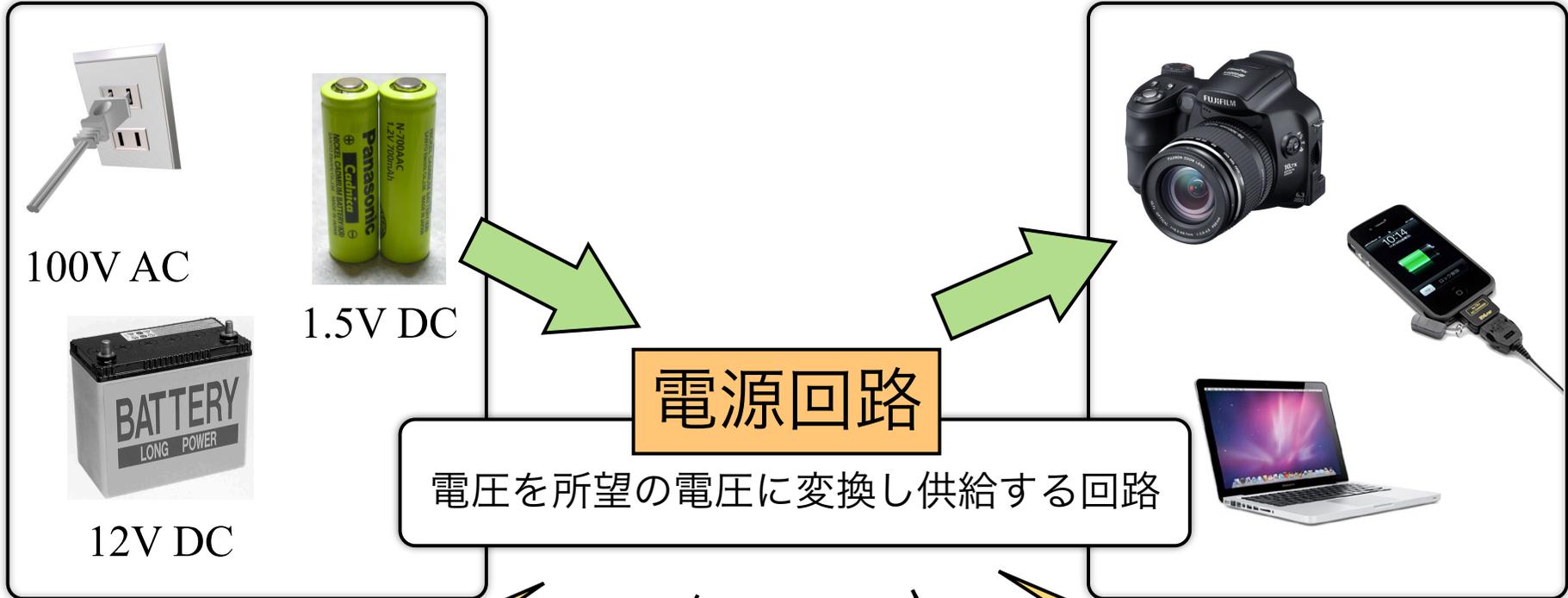
- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路  
従来 of 制御方式の問題点
- 適応PWM制御方式
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

# OUTLINE



- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路  
従来 of 制御方式の問題点
- 適応PWM制御方式
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

# 研究背景



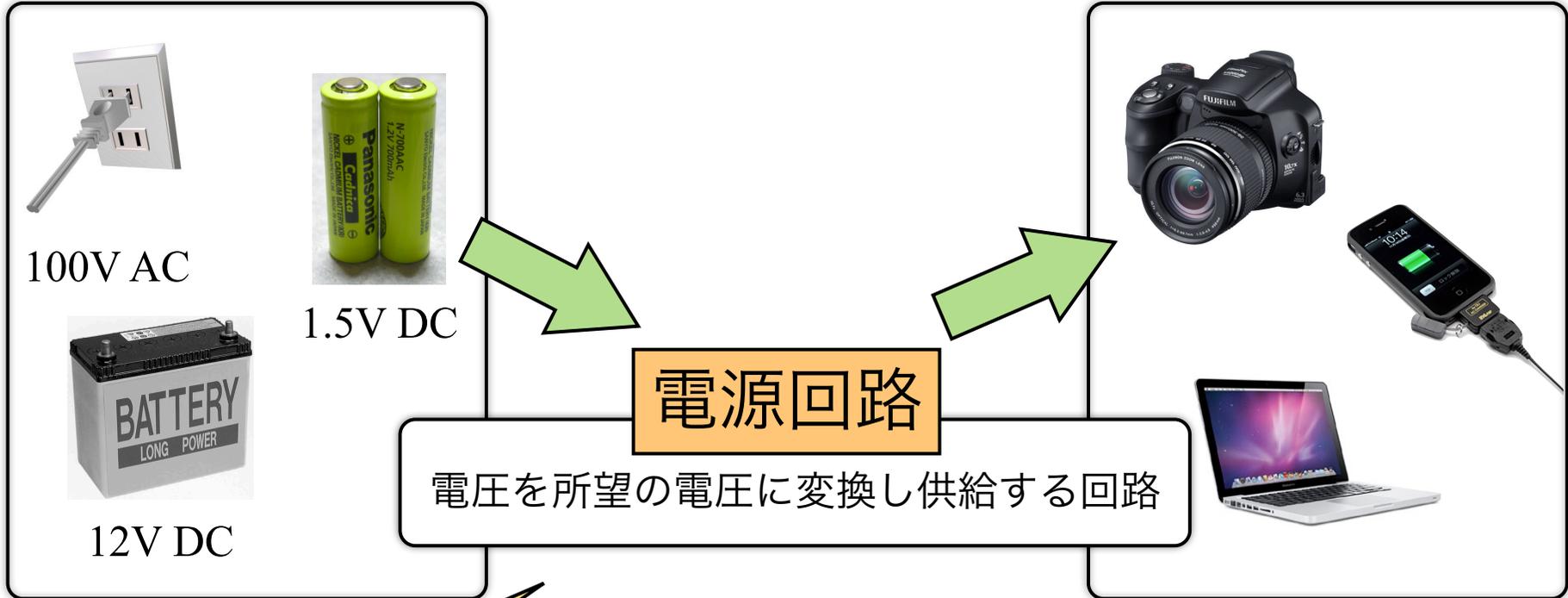
DC-DCコンバータ  
直流入力直流出力

AC-DCコンバータ  
交流入力直流出力

AC-ACコンバータ  
交流入力交流出力

DC-ACコンバータ  
直流入力交流出力

# 研究背景



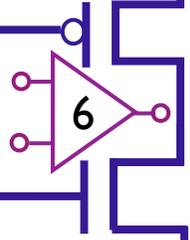
DC-DCコンバータ  
直流入力直流出力

電子機器内に多数使用されている

性能や効率に大きく関わってくる

重要

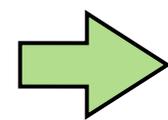
# 研究背景



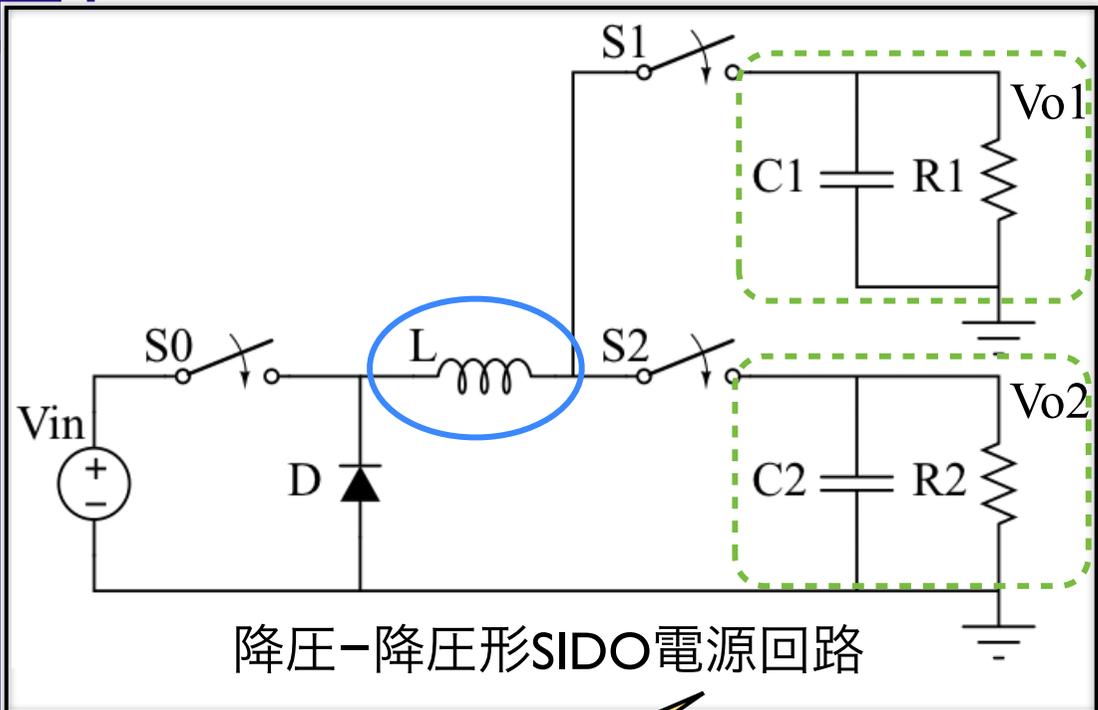
SIDOとは・・・

Single Inductor Dual Outputの略  
単一インダクタ2出力電源回路

出力2つに対し  
インダクタが1つ



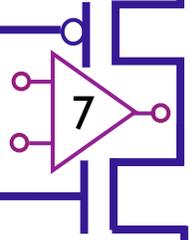
小型化



降圧-降圧形SIDO電源回路

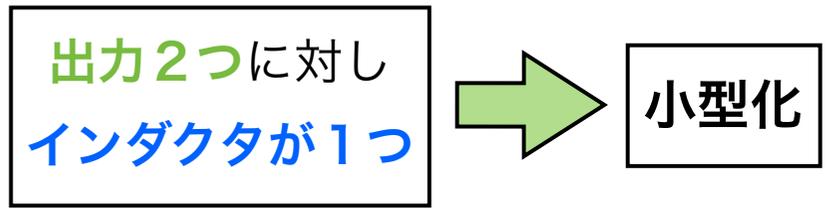
DC-DCコンバータ  
直流入力直流出力

# 研究背景

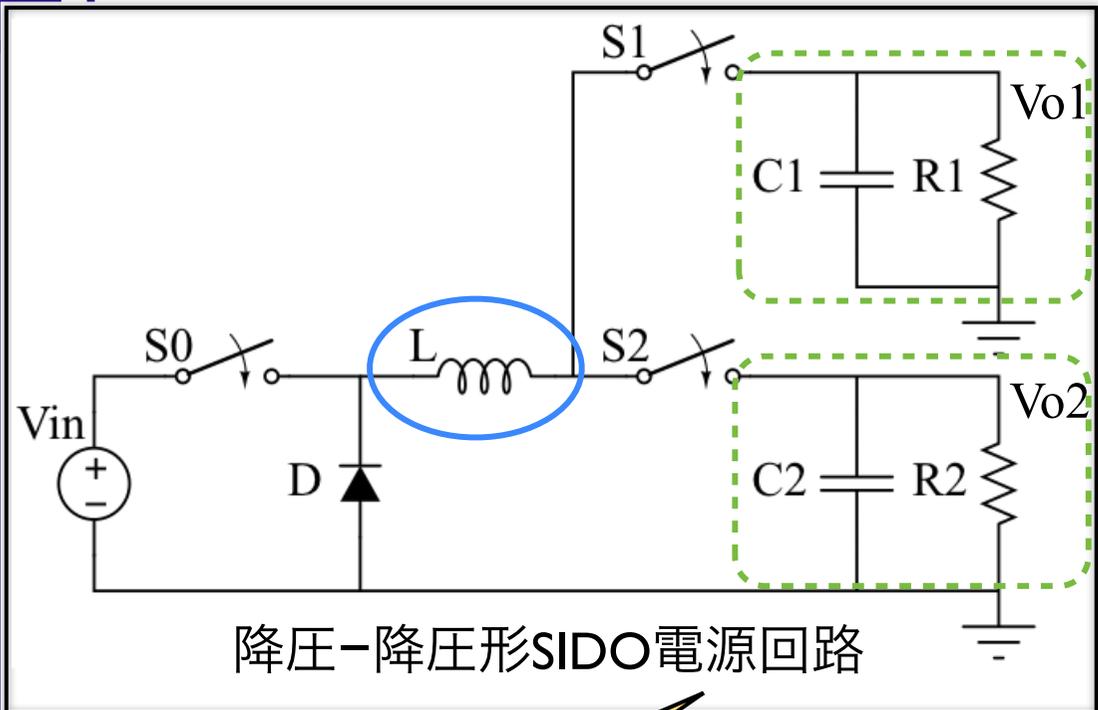


SIDOとは・・・

Single Inductor Dual Outputの略  
単一インダクタ2出力電源回路



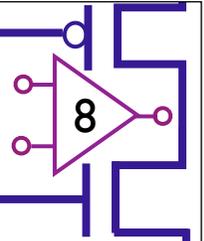
## 適応PWM制御方式



降圧-降圧形SIDO電源回路

DC-DCコンバータ  
直流入力直流出力

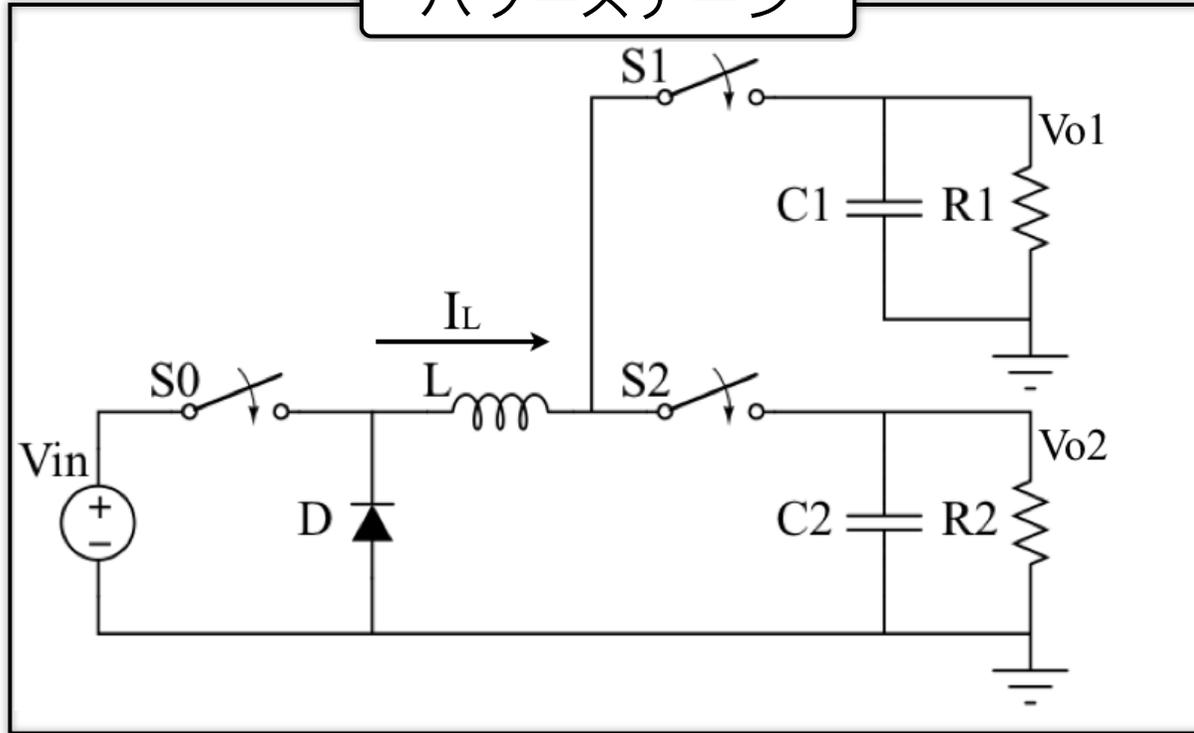
# OUTLINE



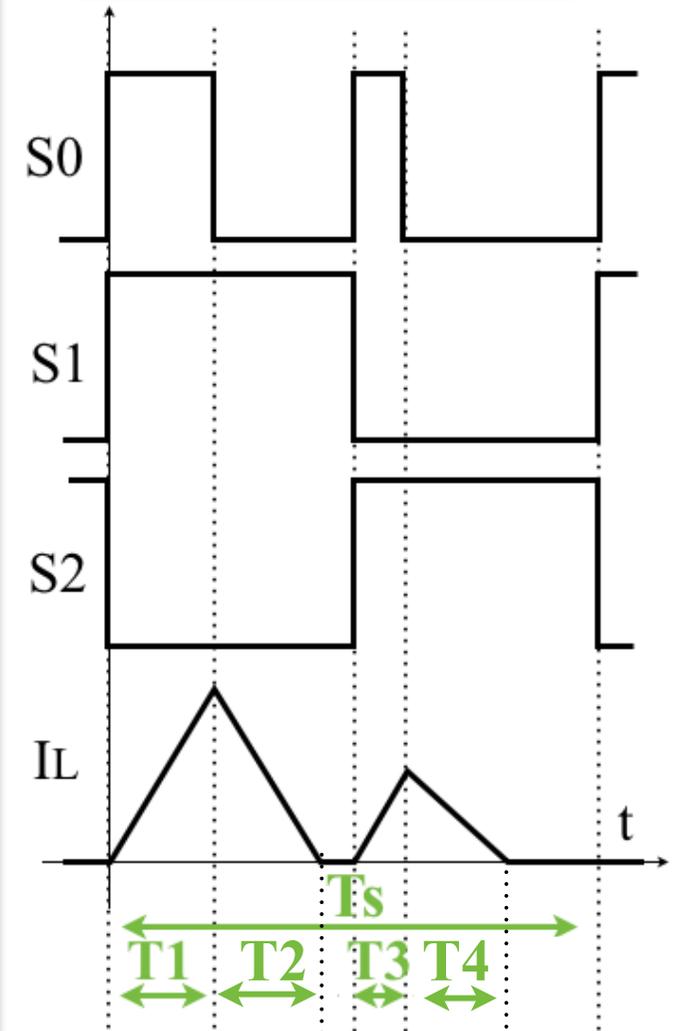
- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路  
従来の制御方式の問題点
- 適応PWM制御方式
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

# 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路

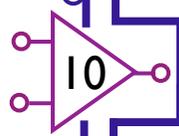
パワーステージ



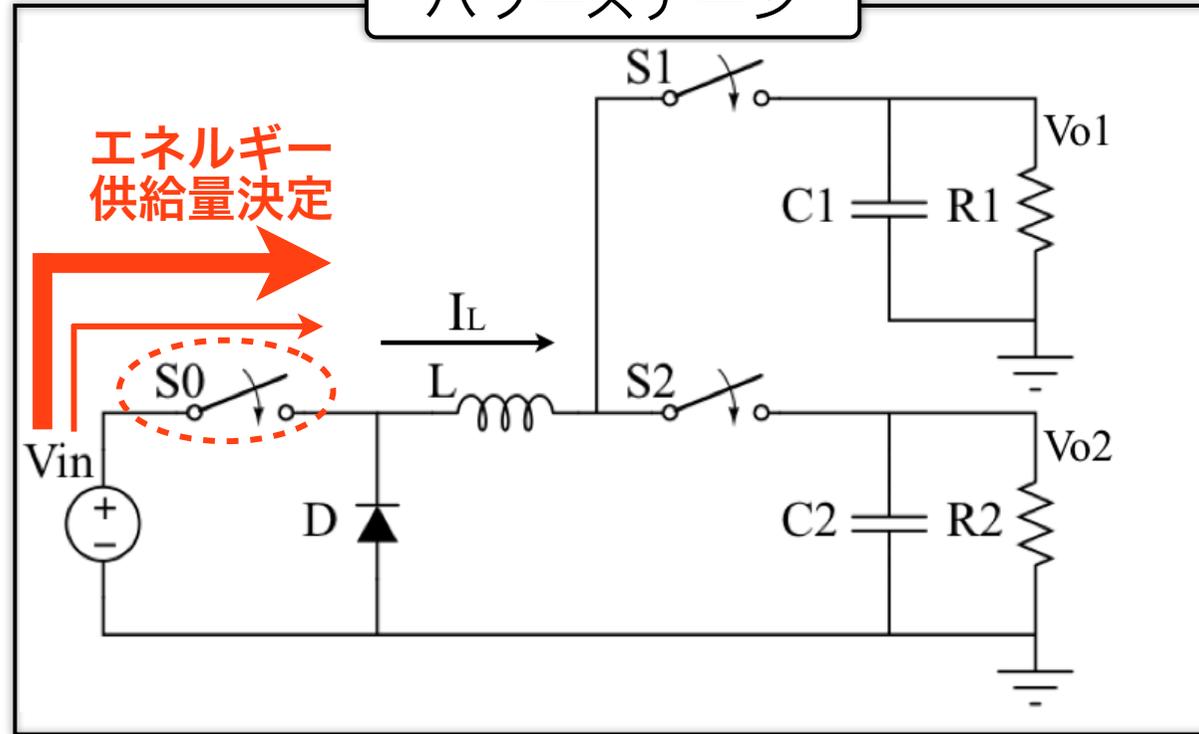
タイミングチャート



# 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路

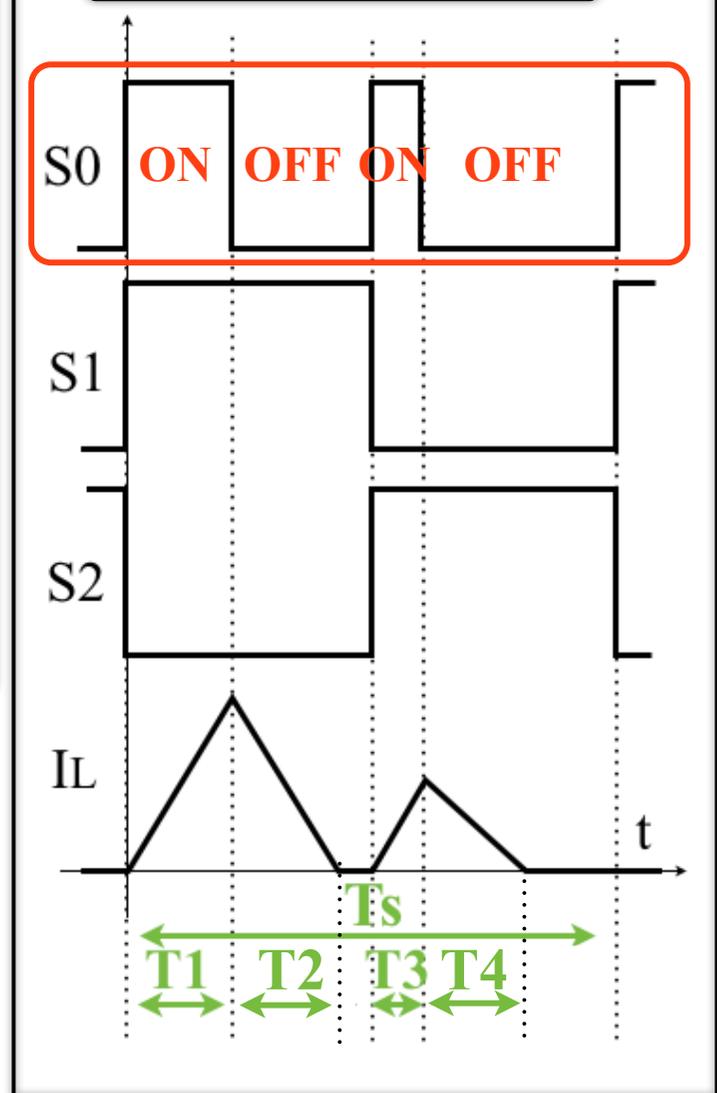


パワーステージ

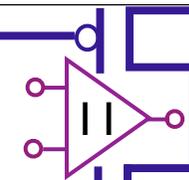


エネルギー供給量決定

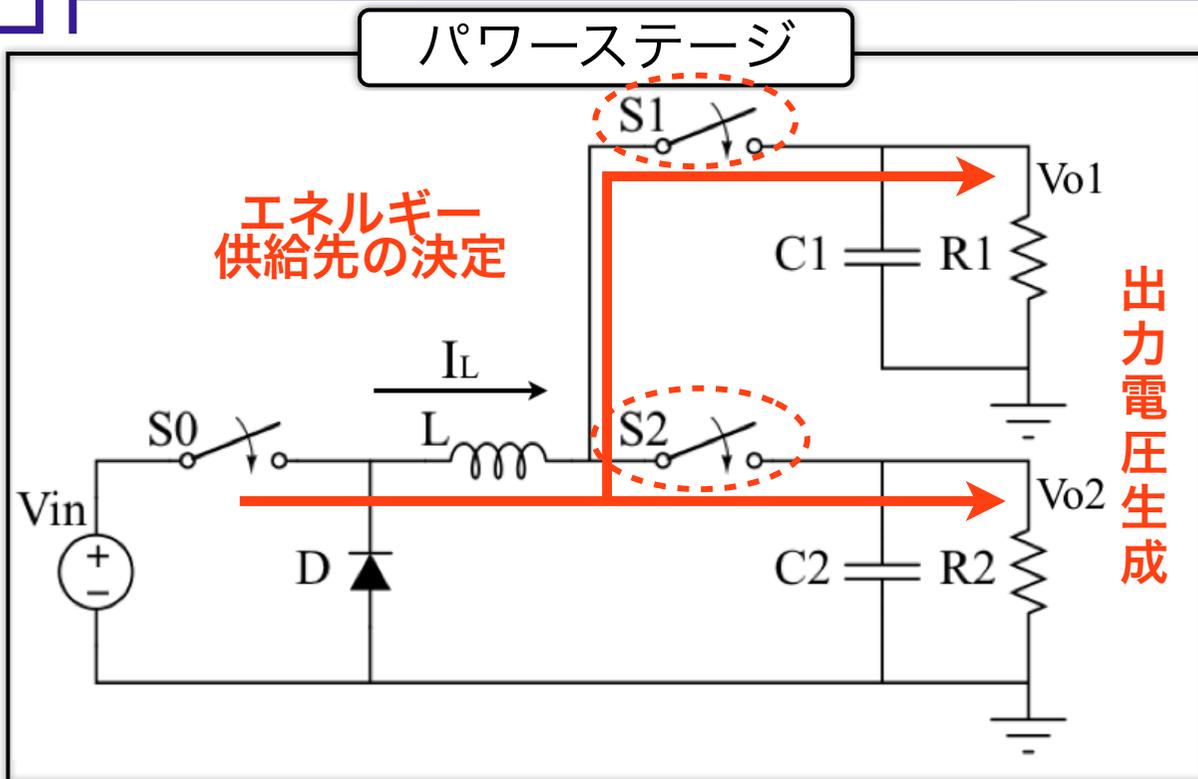
タイミングチャート



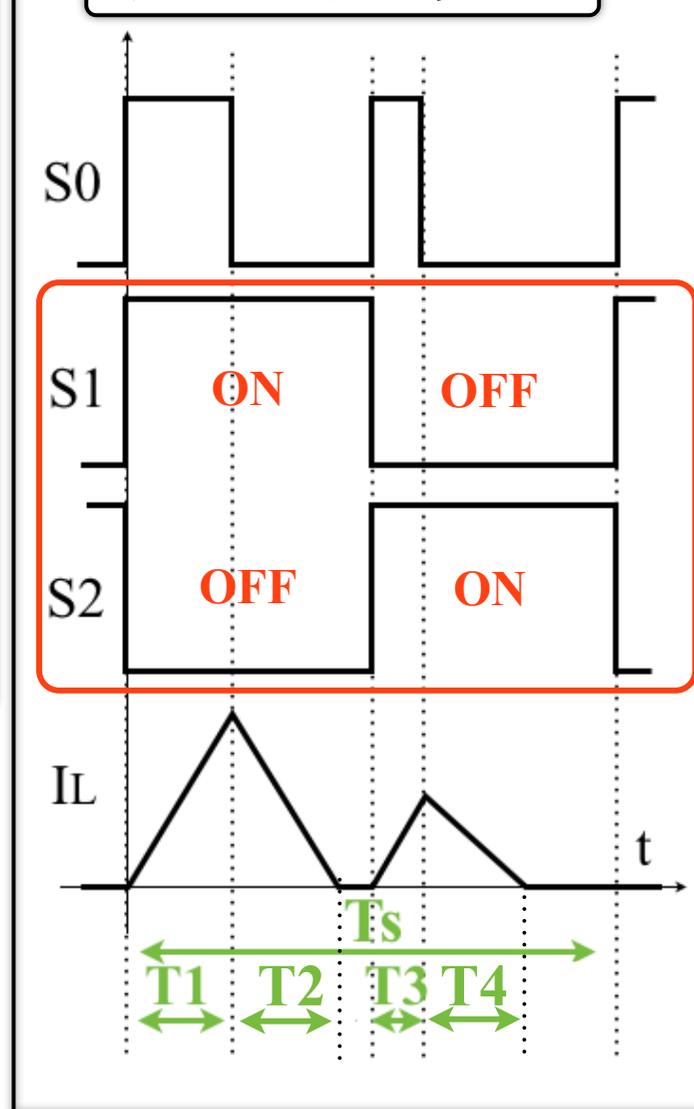
# 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路



パワーステージ

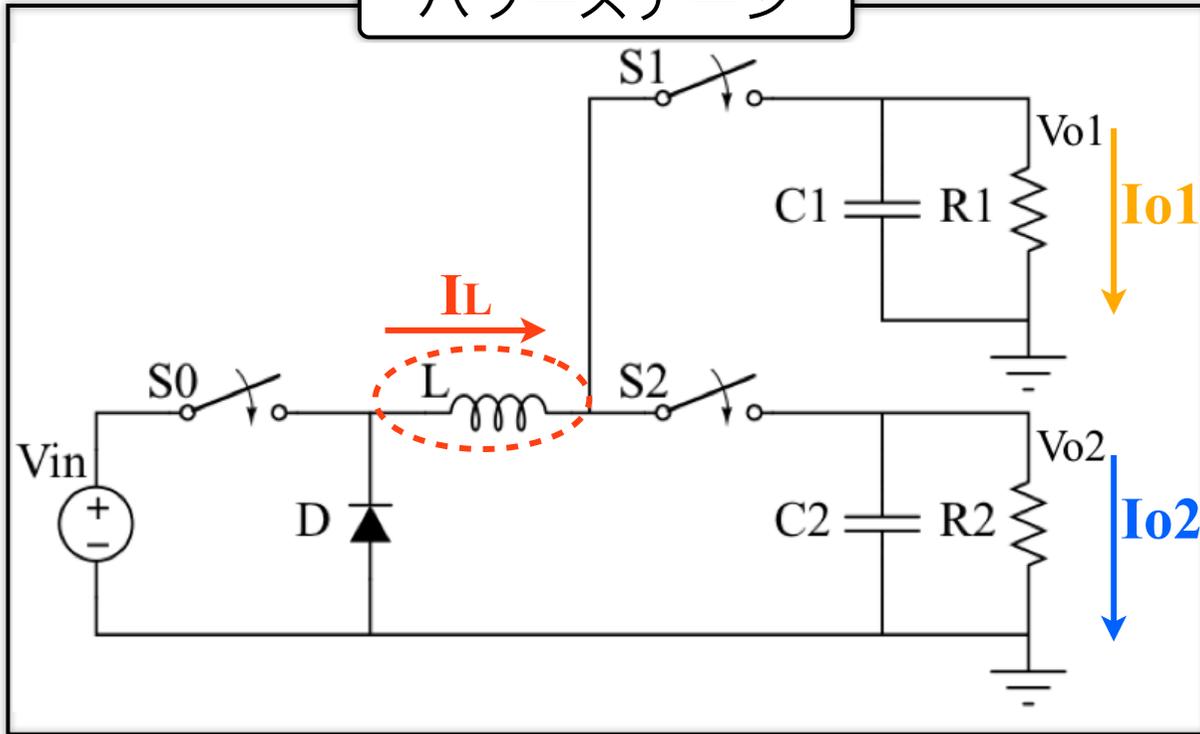


タイミングチャート

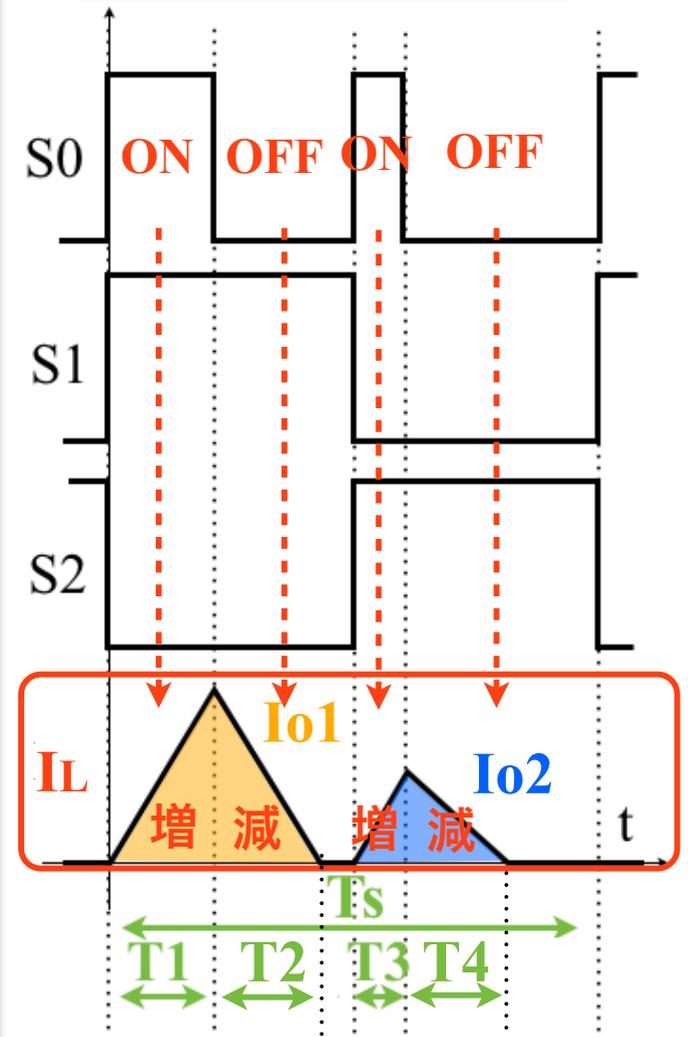


# 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路

パワーステージ

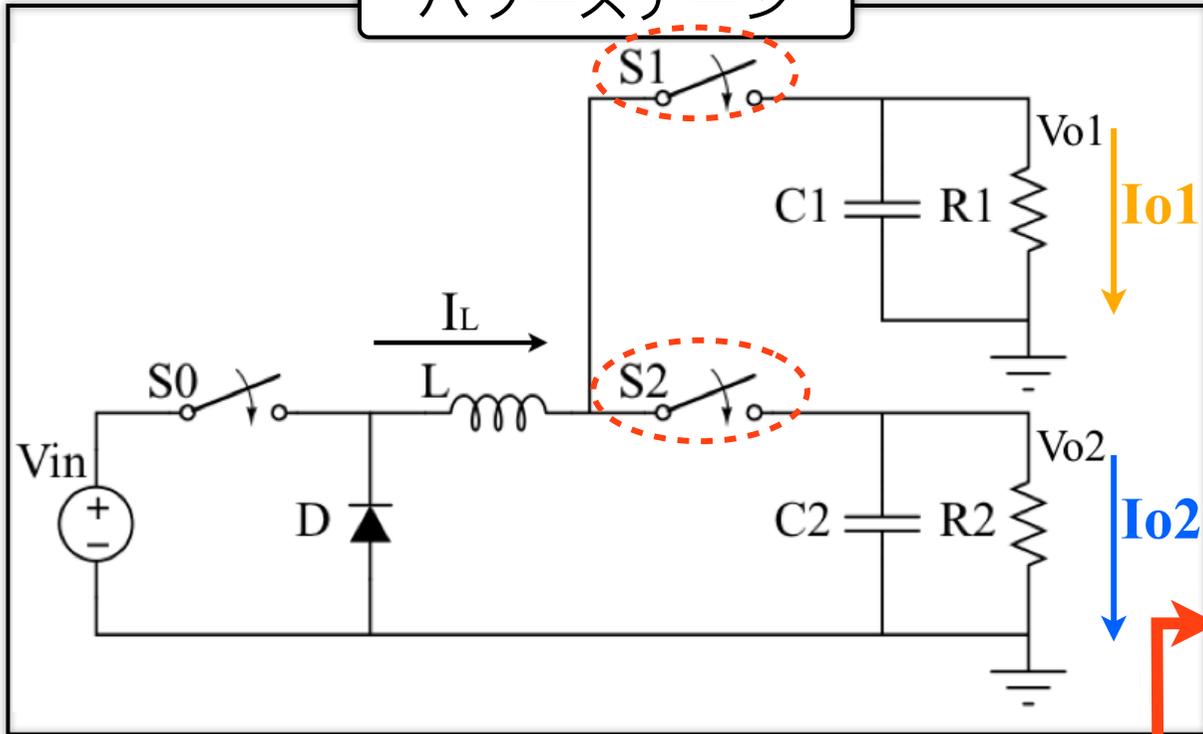


タイミングチャート

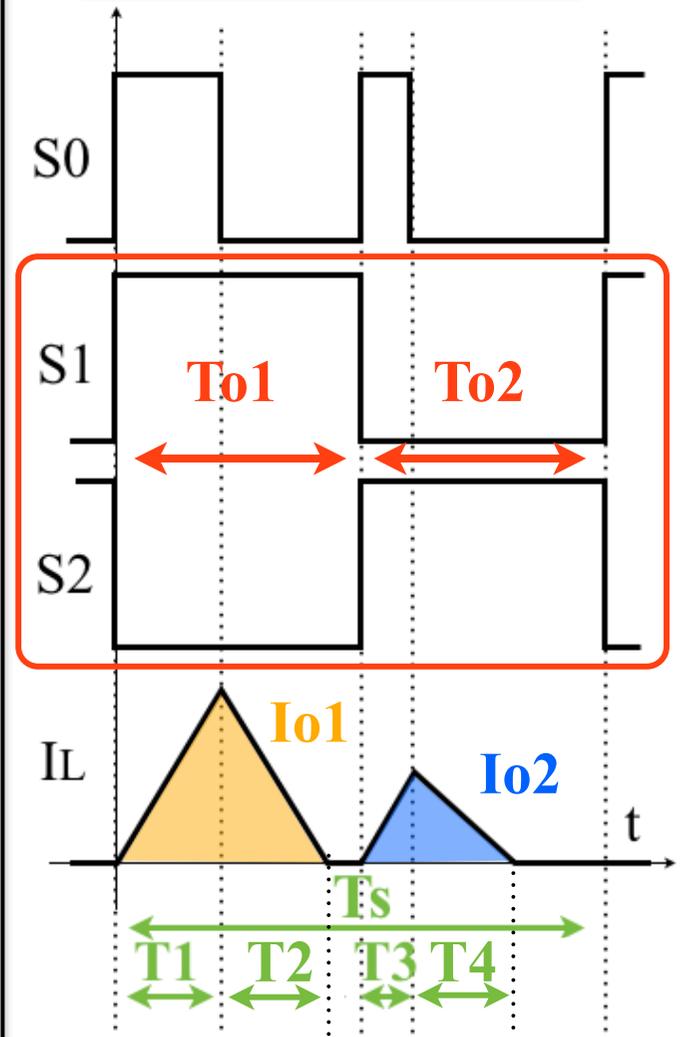


# 従来制御方式(制御時間比率固定)

パワーステージ

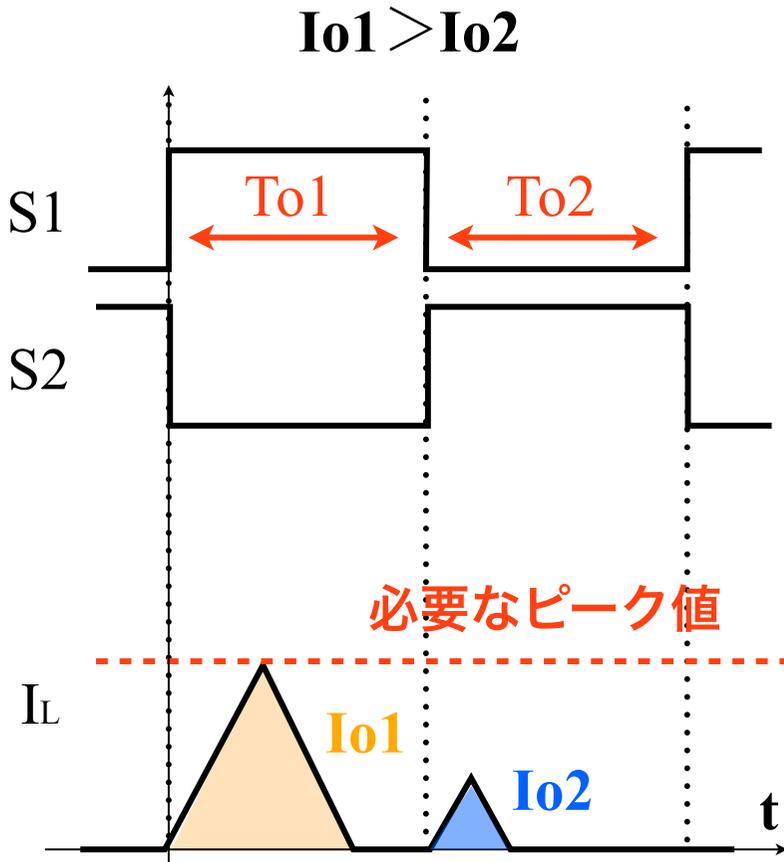


タイミングチャート



両出力の制御時間比率  $To1 : To2$  が固定

# 従来制御方式(制御時間比率固定)の問題点



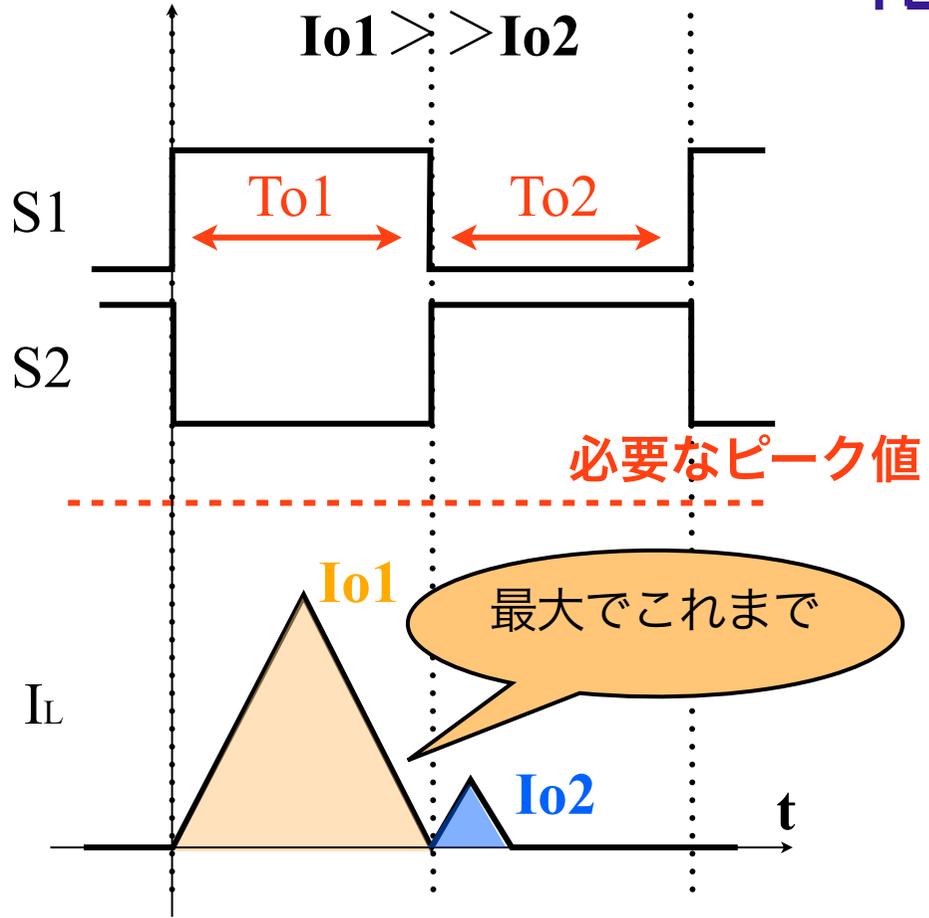
$$I_L = \frac{V_{in} - V_o}{L} t$$

増加の傾き

$$I_L = -\frac{V_o}{L} t$$

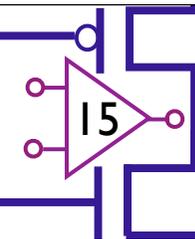
減少の傾き

一定



大きな負荷電流比  
対応できない

# 適応PWM制御方式

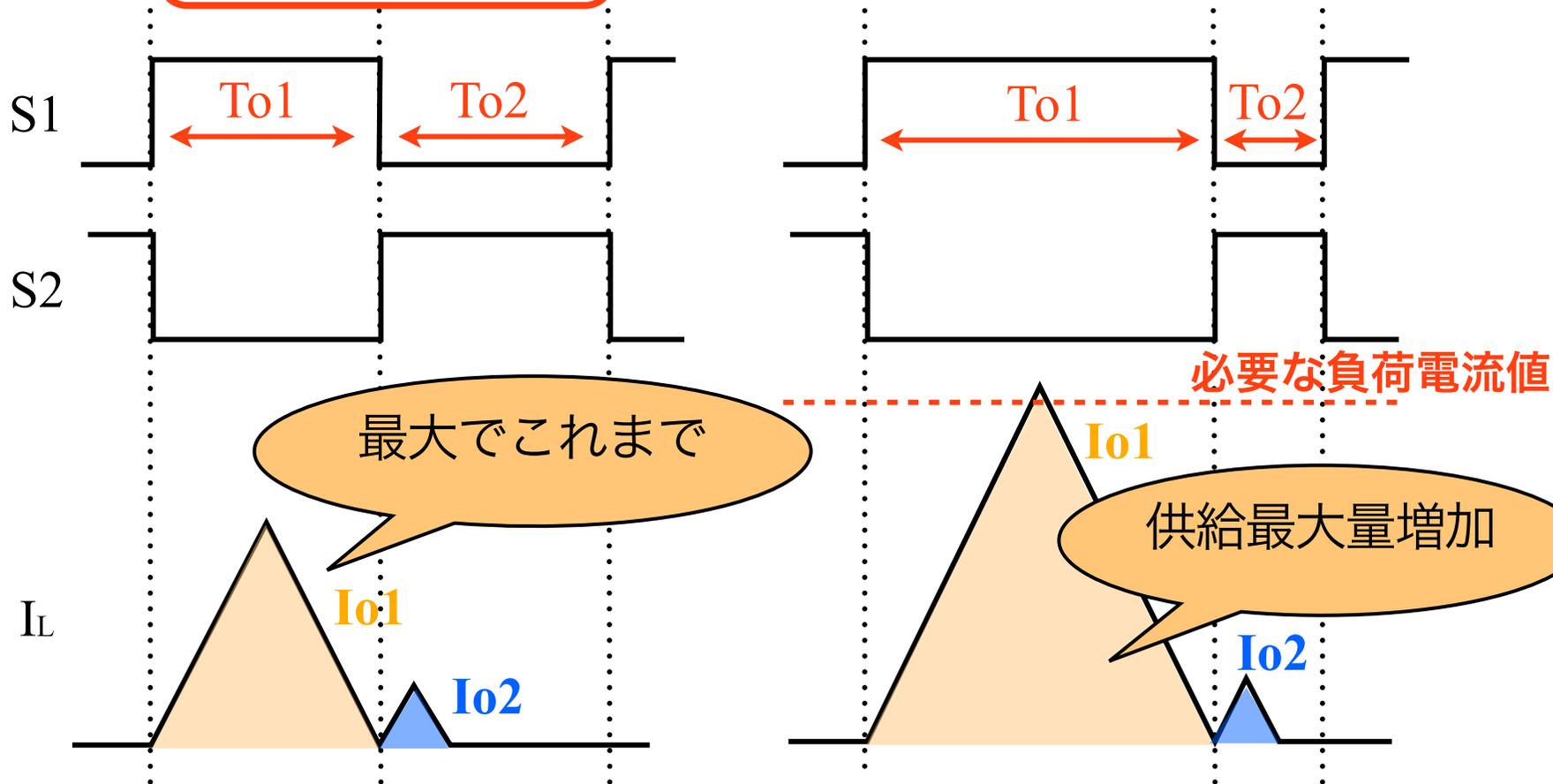


従来

制御時間比率固定

提案

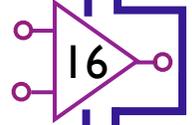
制御時間比率を変動



大きな負荷電流比  
対応できない

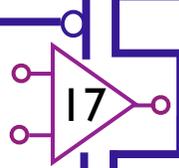
大きな負荷電流比への  
対応が可能

# OUTLINE

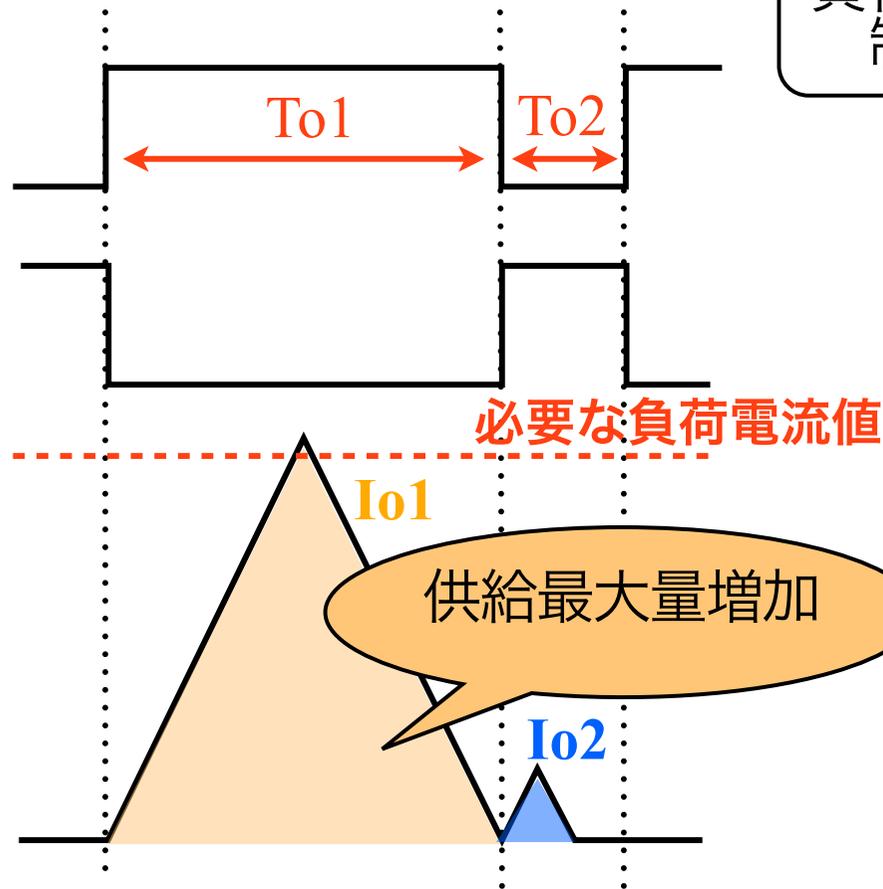


- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路  
従来の制御方式の問題点
- **適応PWM制御方式**
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

# 制御時比率決定方法



制御時間比率を変動



負荷電流の多い方に  
制御時間が必要

負荷電流量不足な  
状態では  
目標出力値との  
誤差が大きくなる

制御比率決定方法

出力の誤差電圧比と制御時間比率が

$$\Delta V_{o1} : \Delta V_{o2} = T_{o1} : T_{o2}$$

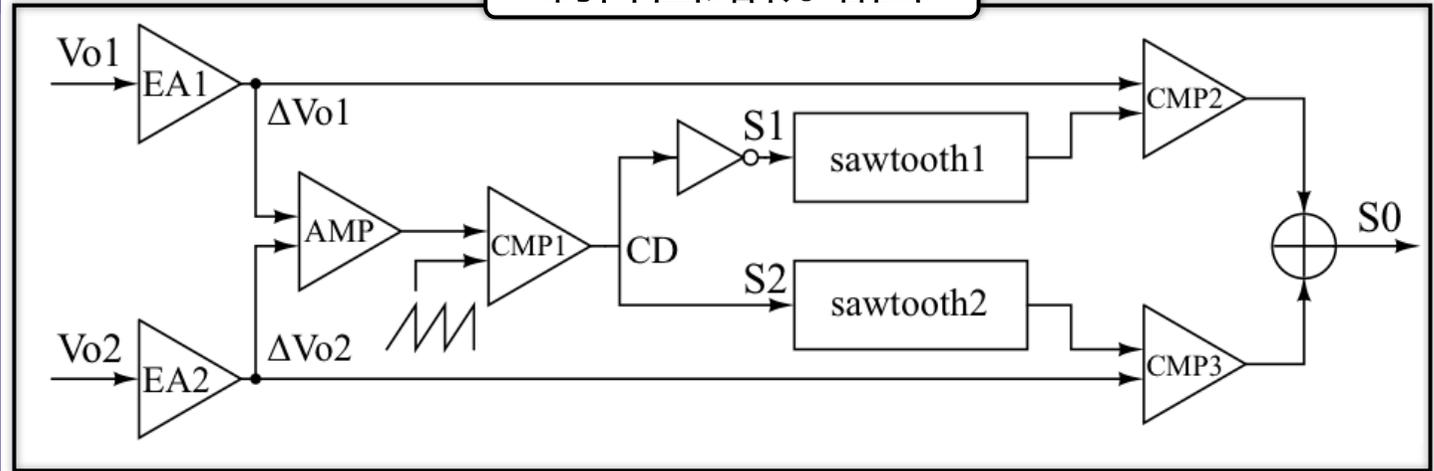
となるように負帰還制御を行う

大きな負荷電流比への  
対応が可能

適応PWM制御方式

# 適応PWM制御方式

制御回路概略図

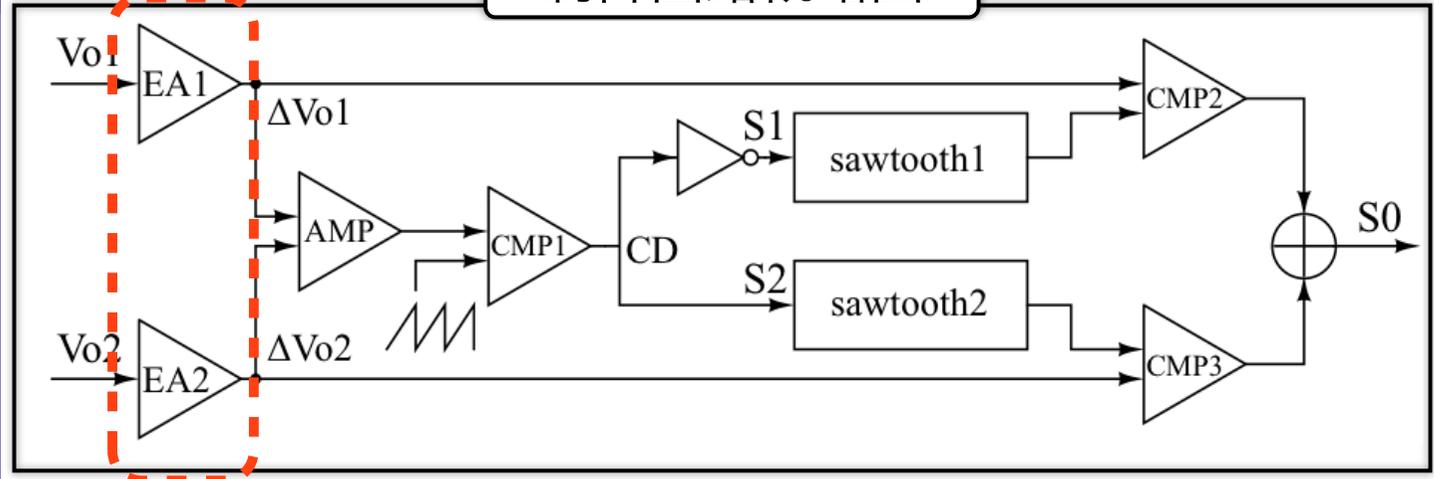


## 適応PWM制御の流れ

- ①それぞれの出力誤差 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ を検出
- ② $\Delta V_{o1}:\Delta V_{o2}=T_{o1}:T_{o2}$ となるような制御信号(CD信号)を生成
- ③生成したCD信号に合わせたノコギリ波を生成
- ④生成したノコギリ波と誤差電圧 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ からPWM信号を生成

# 適応PWM制御方式

制御回路概略図

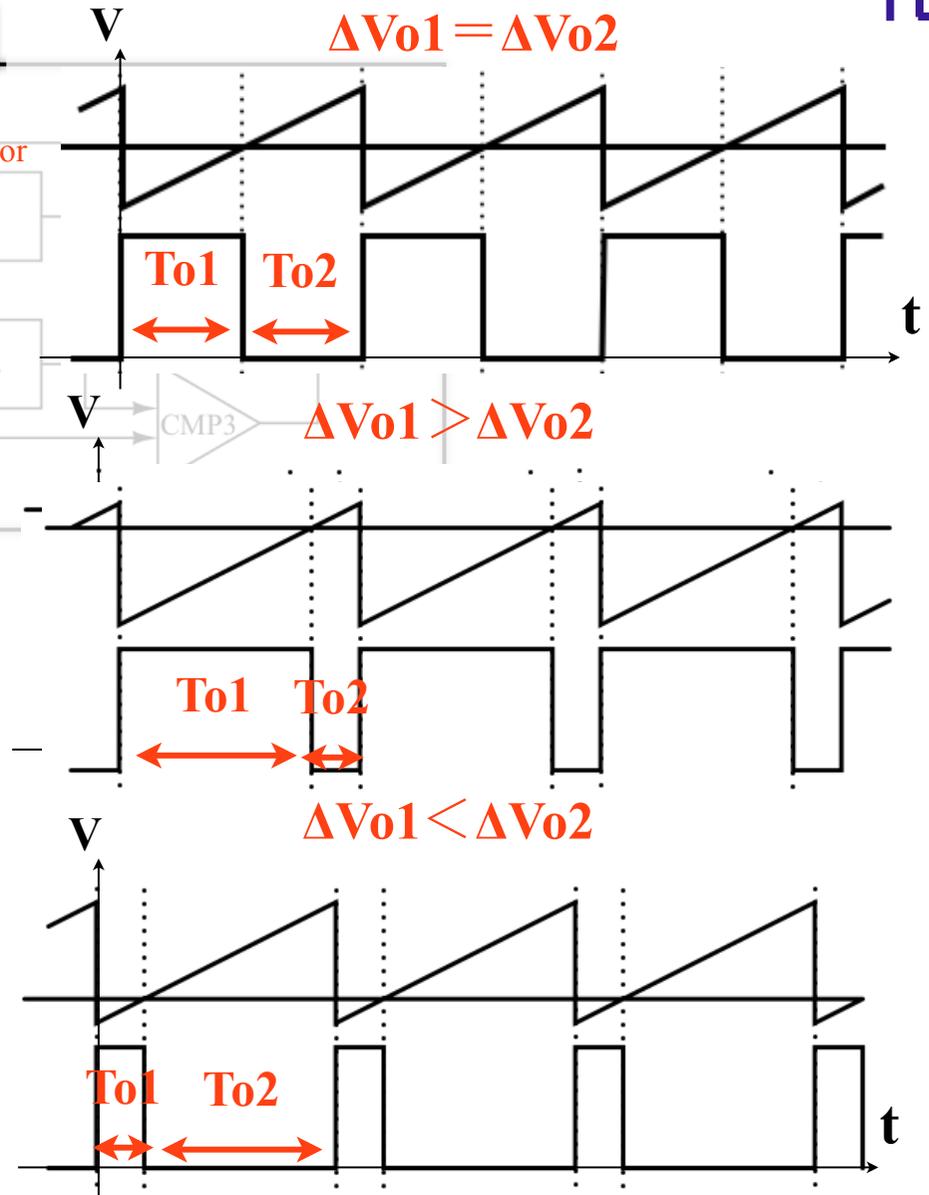
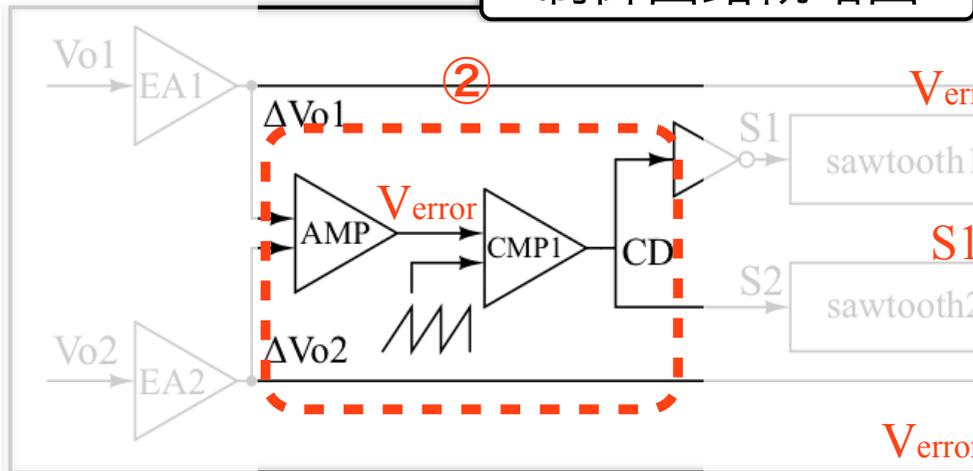


## 適応PWM制御の流れ

- ①それぞれの出力誤差 $\Delta V_{o1}$ ,  $\Delta V_{o2}$ を検出
- ② $\Delta V_{o1}:\Delta V_{o2}=T_{o1}:T_{o2}$ となるような制御信号(CD信号)を生成
- ③生成したCD信号に合わせたノコギリ波を生成
- ④生成したノコギリ波と誤差電圧 $\Delta V_{o1}$ ,  $\Delta V_{o2}$ からPWM信号を生成

# 適応PWM制御方式

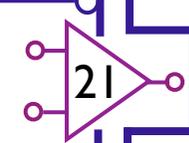
制御回路概略図



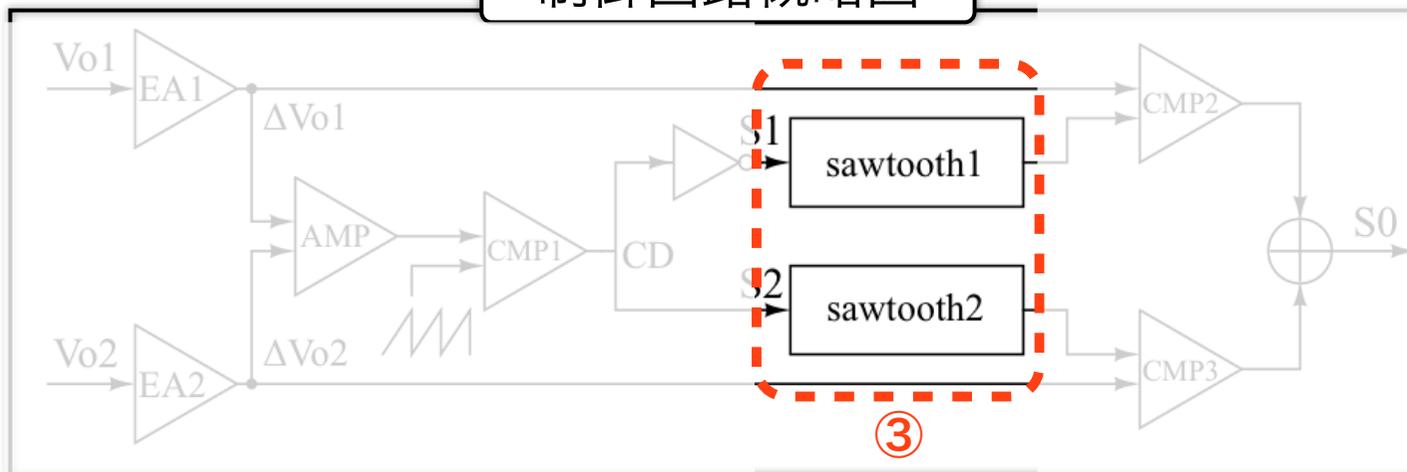
## 適応PWM制御の流れ

- ①それぞれの出力誤差 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ を検出
- ② $\Delta V_{o1} : \Delta V_{o2} = T_{o1} : T_{o2}$ となるような制御信号(CD信号)を生成
- ③生成したCD信号に合わせたノコギリ波を生成
- ④生成したノコギリ波と誤差電圧 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ からPWM信号を生成

# 適応PWM制御方式



制御回路概略図



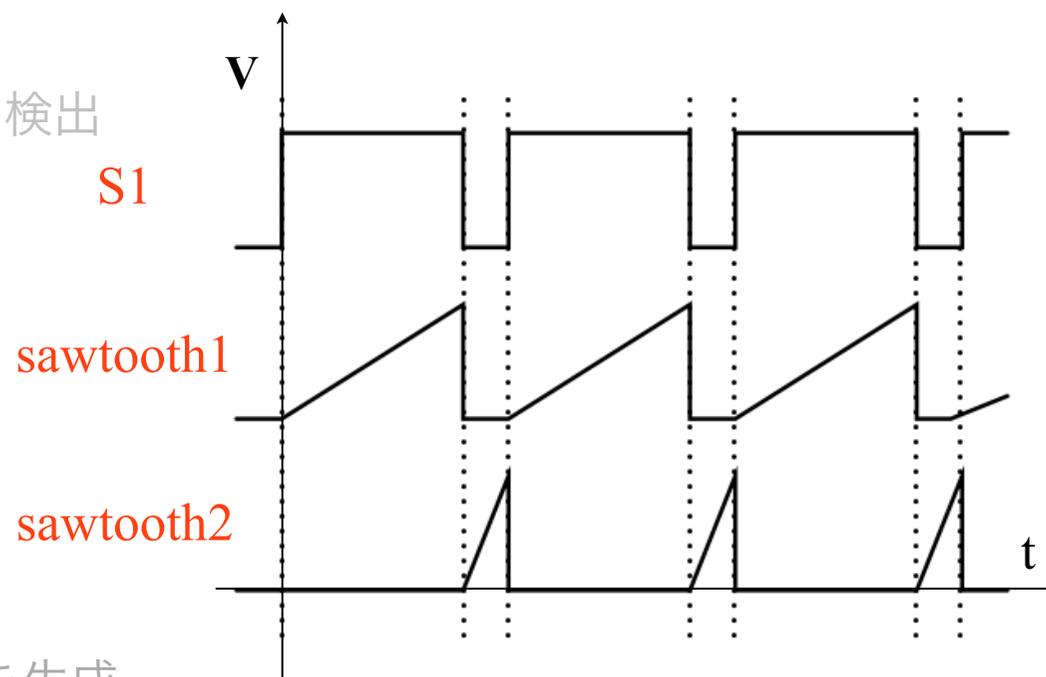
## 適応PWM制御の流れ

①それぞれの出力誤差 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ を検出

② $\Delta V_{o1}:\Delta V_{o2}=T_{o1}:T_{o2}$ となるような  
制御信号(CD信号)を生成

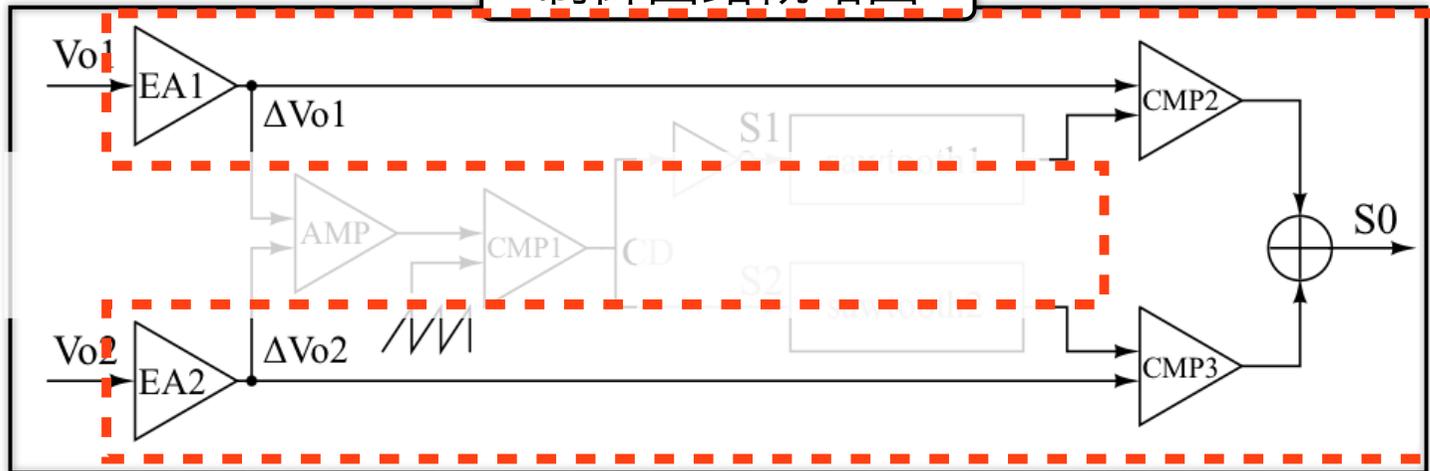
③生成したCD信号に合わせた  
ノコギリ波を生成

④生成したノコギリ波と  
誤差電圧 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ からPWM信号を生成



# 適応PWM制御方式

制御回路概略図



④

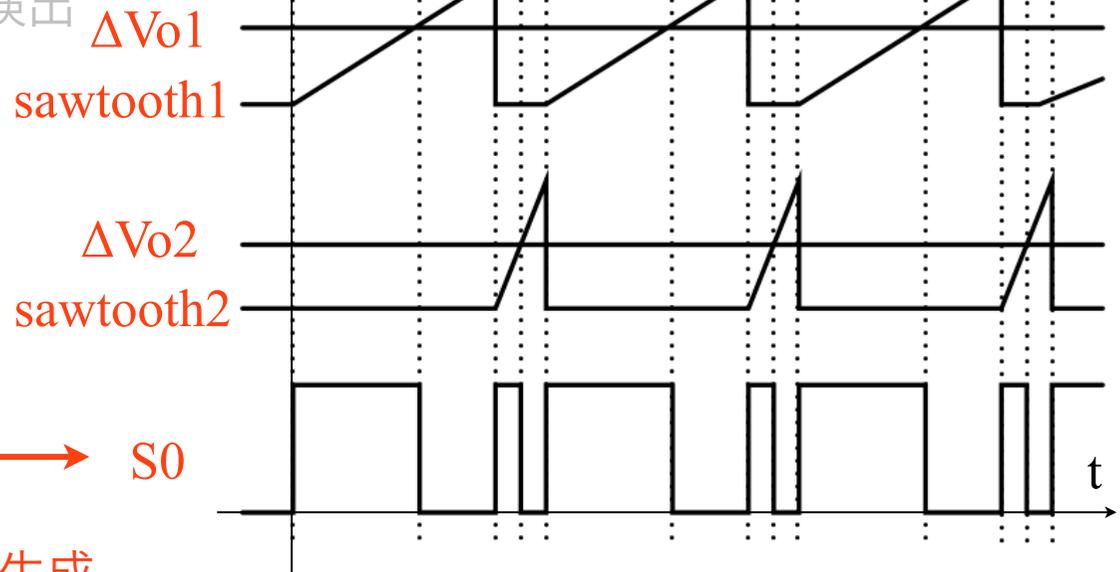
## 適応PWM制御の流れ

①それぞれの出力誤差 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ を検出

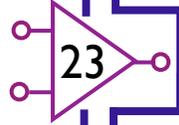
② $\Delta V_{o1} : \Delta V_{o2} = T_{o1} : T_{o2}$ となるような  
制御信号(CD信号)を生成

③生成したCD信号に合わせた  
ノコギリ波を生成

④生成したノコギリ波と  
誤差電圧 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ からPWM信号を生成



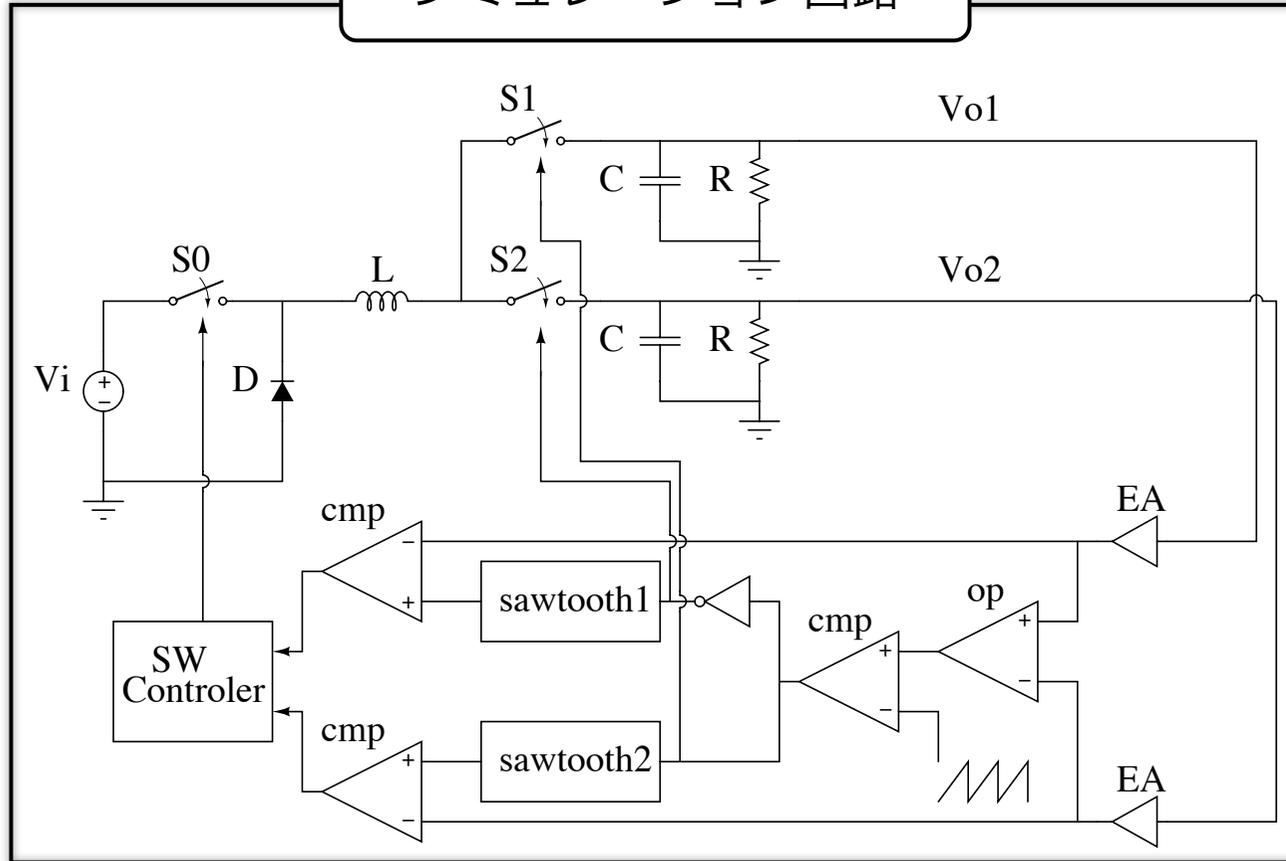
# OUTLINE



- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路  
従来 of 制御方式の問題点
- 適応PWM方式
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

# シミュレーション(提案制御方式)

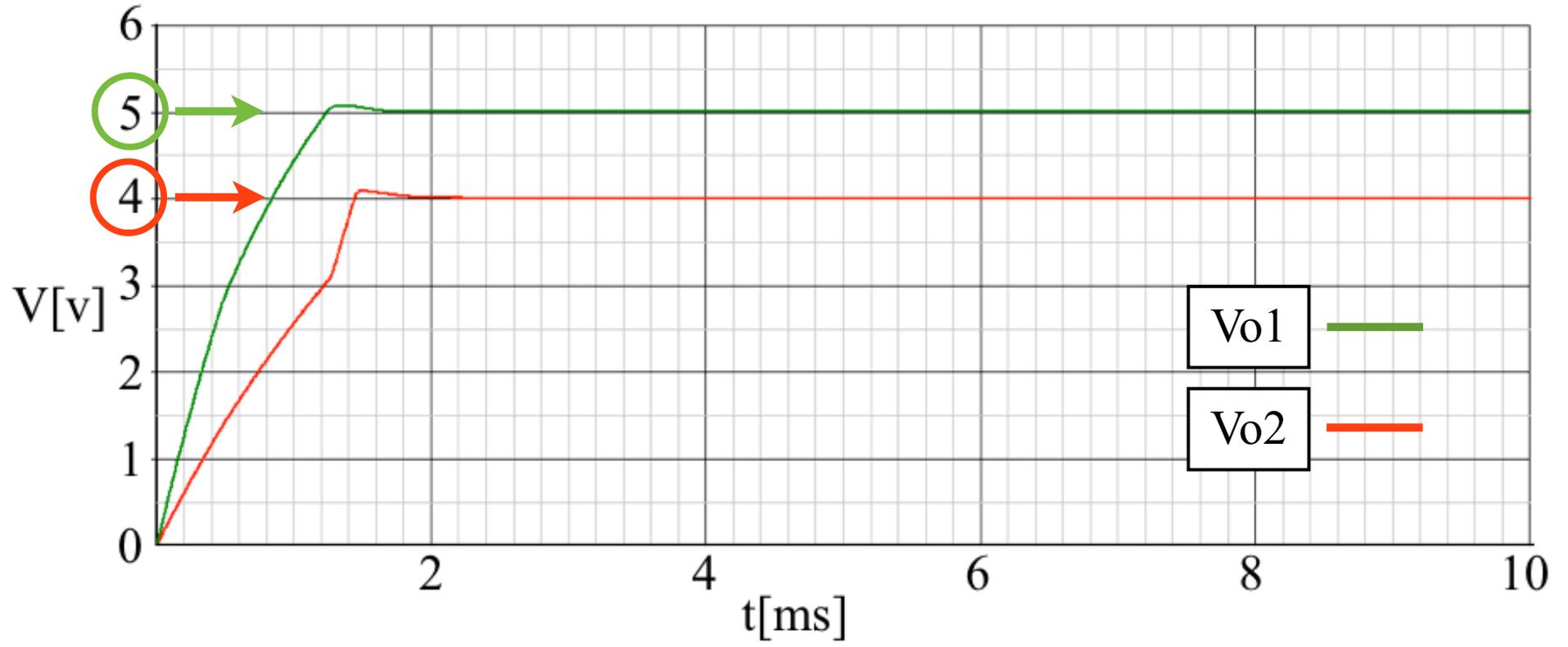
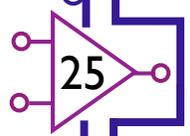
シミュレーション回路



シミュレーション条件

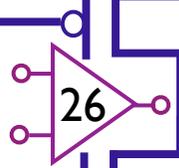
入力電圧 $V_{in}$	10V
出力電圧 $V_{o1}$	5V
出力電圧 $V_{o2}$	4V
負荷電流 $I_{o1}$	0.1A
負荷電流 $I_{o2}$	0.1A
インダクタ $L$	2 $\mu$ H
出力容量 $C$	400 $\mu$ F
動作周波数 $f$	200kHz

# 出力電圧

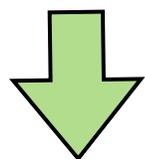


出力電圧波形

# シミュレーション



2出力の負荷電流比を1:1から広げていき  
どの範囲まで動作するか検証した

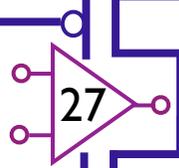


I<sub>o2</sub>を固定し  
**I<sub>o1</sub>を増加させていく**

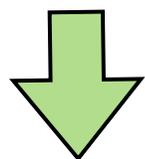
## シミュレーション条件

入力電圧V <sub>in</sub>	10V
出力電圧V <sub>o1</sub>	5V
出力電圧V <sub>o2</sub>	4V
負荷電流I <sub>o1</sub>	
負荷電流I <sub>o2</sub>	
インダクタL	2μH
出力容量C	400μF
動作周波数f	200kHz

# シミュレーション



2出力の負荷電流比を1:1から広げていき  
どの範囲まで動作するか検証した

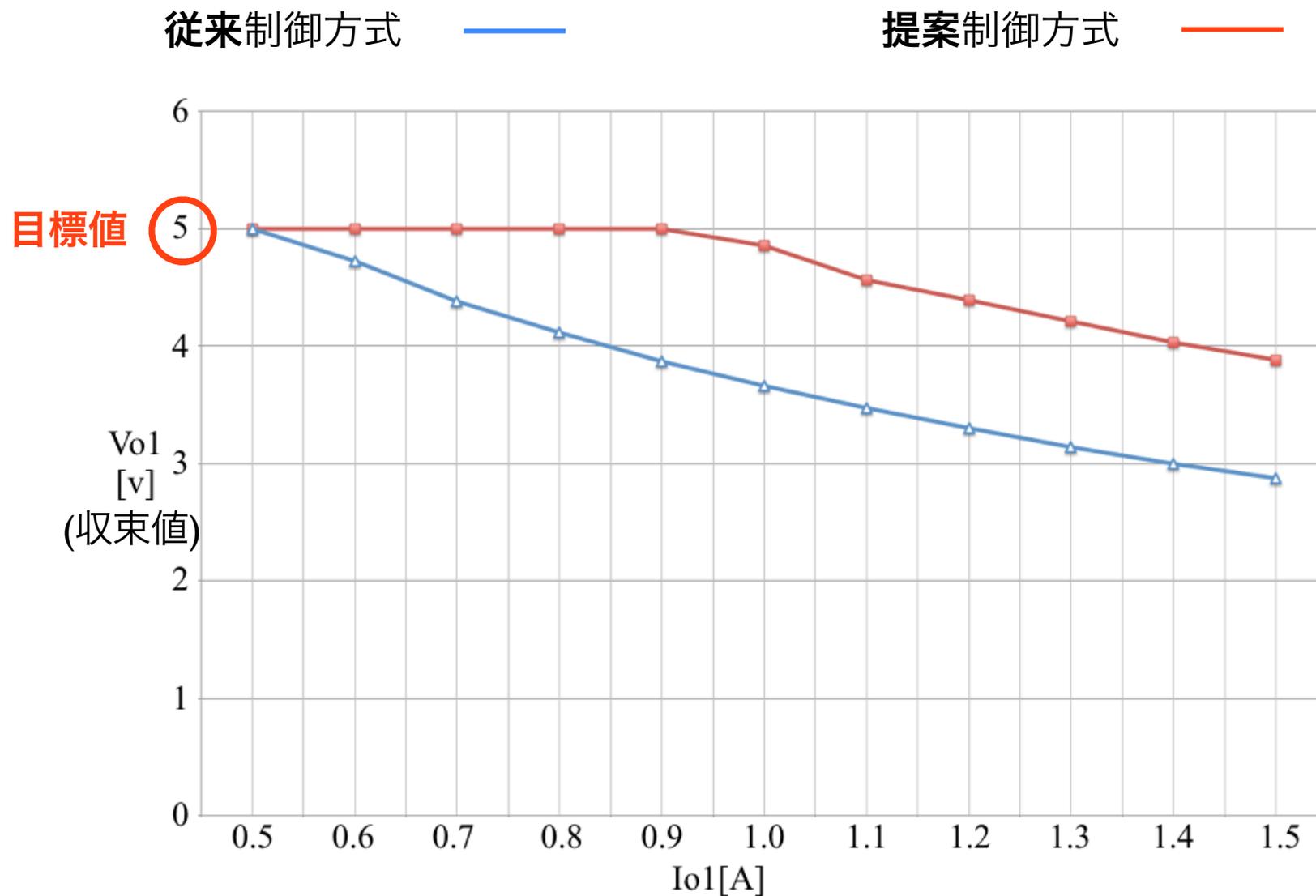


I<sub>o2</sub>を固定し  
I<sub>o1</sub>を増加させていく

## シミュレーション条件

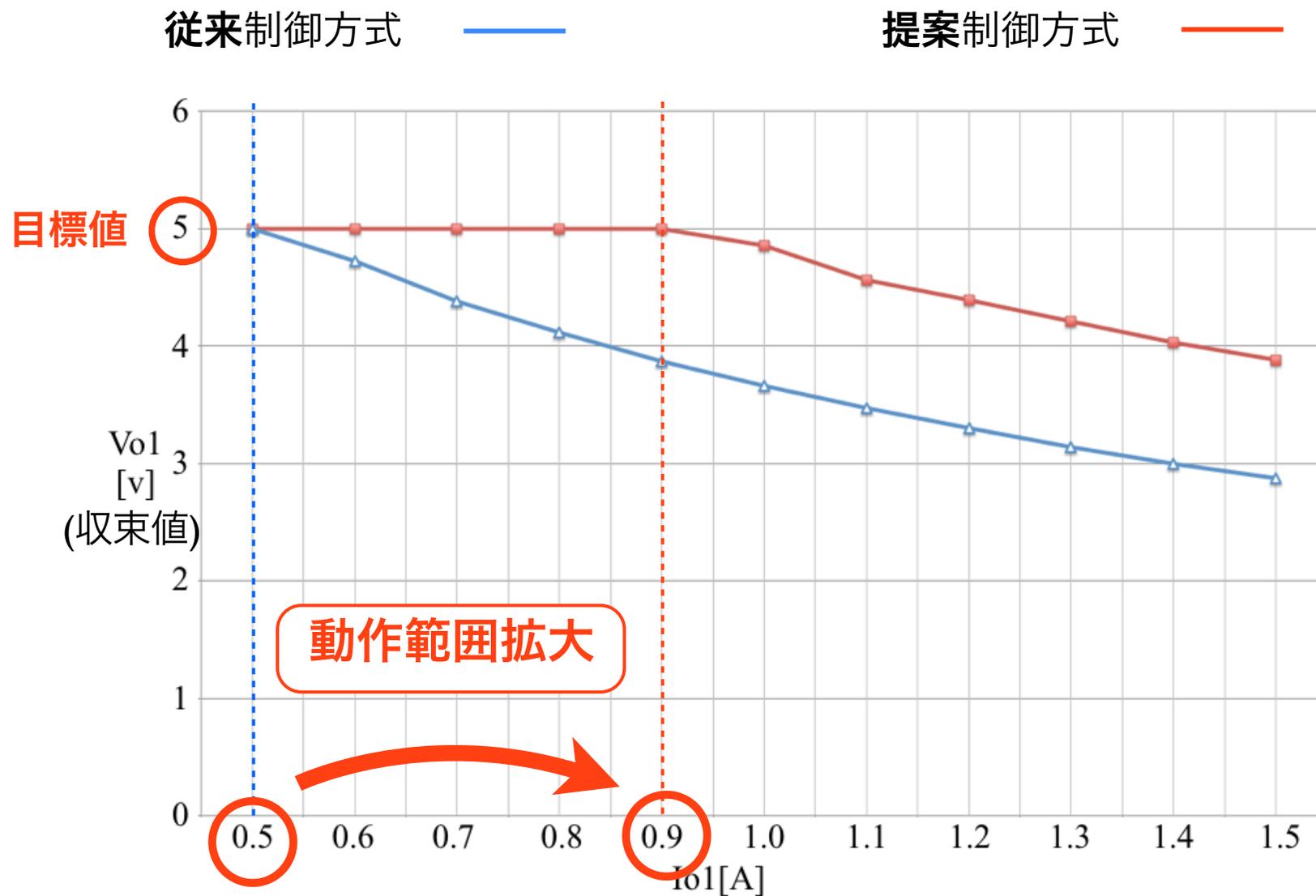
入力電圧V <sub>in</sub>	10V
出力電圧V <sub>o1</sub>	5V
出力電圧V <sub>o2</sub>	4V
負荷電流I <sub>o1</sub>	<b>0.5A</b>
負荷電流I <sub>o2</sub>	<b>0.5A</b>
インダクタL	2μH
出力容量C	400μF
動作周波数f	200kHz

# シミュレーション結果( $I_{o2}=0.5A$ )



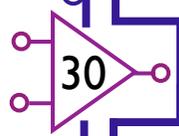
負荷電流比増加における動作範囲の検証結果

# シミュレーション結果( $I_{o2}=0.5A$ )

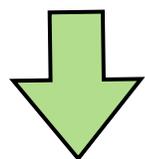


負荷電流比増加における動作範囲の検証結果

# シミュレーション



2出力の負荷電流比を1:1から広げていき  
どの範囲まで動作するか検証した

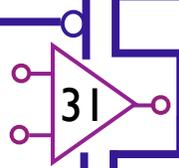


I<sub>o2</sub>を固定し  
I<sub>o1</sub>を増加させていく

## シミュレーション条件

入力電圧V <sub>in</sub>	10V
出力電圧V <sub>o1</sub>	5V
出力電圧V <sub>o2</sub>	4V
負荷電流I <sub>o1</sub>	0.1A
負荷電流I <sub>o2</sub>	0.1A
インダクタL	2μH
出力容量C	400μF
動作周波数f	200kHz

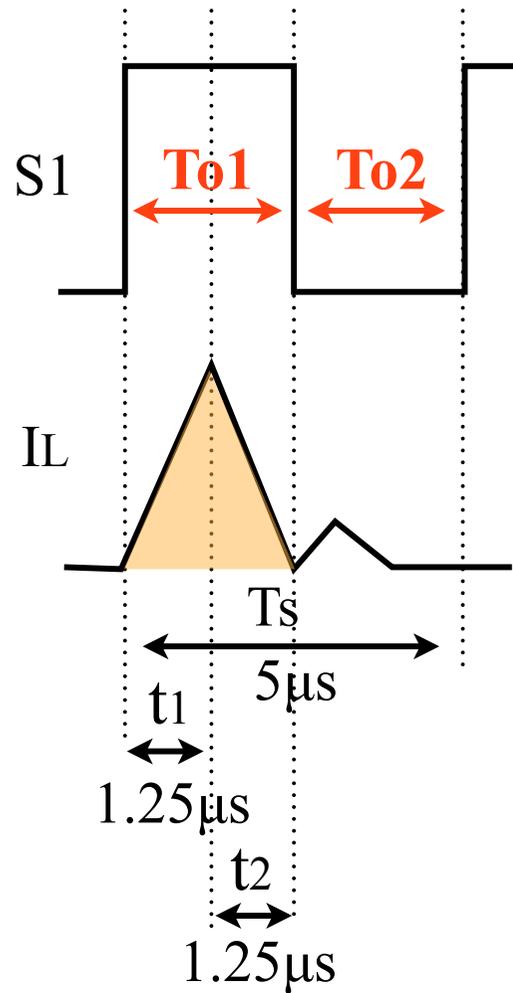
# 理論値計算



制御時間比率  
To1:To2=1:1固定における  
Io1の最大値を求める

$$I_L = \int_0^{\frac{T_{o1}}{2}} \frac{V_{in} - V_o}{L} t dt \times 2$$
$$\cong 4.0[\mu A]$$
$$I_{o1} = \frac{I_L}{T_s}$$
$$= \frac{4.0\mu}{5\mu}$$

$= 0.8[A]$

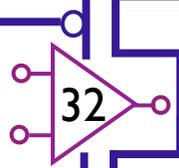


シミュレーション条件	
入力電圧Vin	10V
出力電圧Vo1	5V
出力電圧Vo2	4V
負荷電流Io1	0.1A
負荷電流Io2	0.1A
インダクタL	2μH
出力容量C	400μF
動作周波数f	200kHz

↓

周期Ts = 5μs

# 理論値計算



提案制御方式における  
Io1の最大値を求める

まずIo2=0.1Aを供給するための  
最低限必要とする時間を算出

$$I_{o2} = \frac{\int_0^{\frac{4}{10}T_{o2}} \frac{V_{in}-V_o}{L} t dt + \int_0^{\frac{6}{10}T_{o2}} \frac{V_o}{L} t dt}{T_s} = 0.1A$$

$$T_{o2} \cong 0.9[\mu s]$$

## シミュレーション条件

入力電圧Vin	10V
出力電圧Vo1	5V
出力電圧Vo2	4V
負荷電流Io1	0.1A
負荷電流Io2	0.1A
インダクタL	2μH
出力容量C	400μF
動作周波数f	200kHz



周期Ts = 5μs

# 理論値計算

提案制御方式における  
Io1の最大値を求める

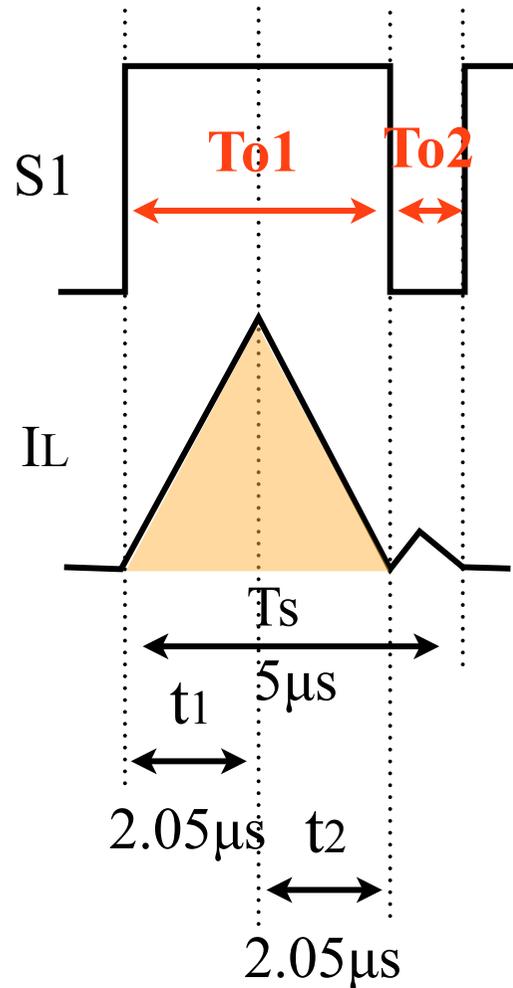
$$T_{o1} = T_s - T_{o2} = 4.1[\mu s]$$

$$I_L = \int_0^{T_{o1}} \frac{V_{in} - V_o}{L} t dt \times 2$$

$$\cong 10[\mu A]$$

$$I_{o1} = \frac{I_L}{T_s}$$

$$= 2[A]$$

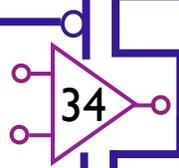


## シミュレーション条件

入力電圧Vin	10V
出力電圧Vo1	5V
出力電圧Vo2	4V
負荷電流Io1	0.1A
負荷電流Io2	0.1A
インダクタL	2μH
出力容量C	400μF
動作周波数f	200kHz

↓  
周期  $T_s = 5\mu s$

# 理論値計算



## 計算結果

従来制御方式  
 $I_{o1}=0.8[A]$ まで動作

提案制御方式  
 $I_{o1}=2.0[A]$ まで動作

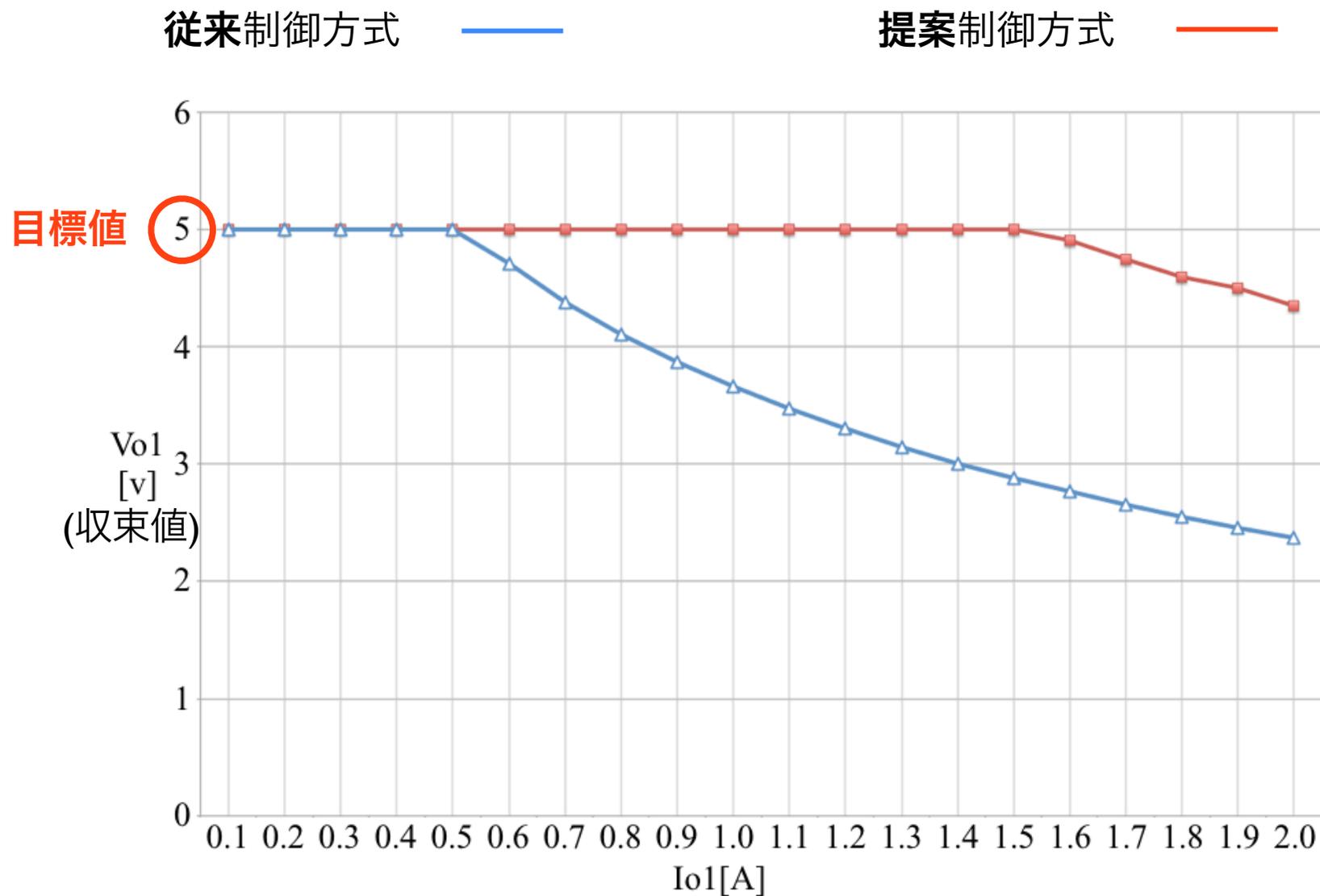
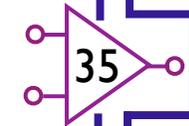
### シミュレーション条件

入力電圧 $V_{in}$	10V
出力電圧 $V_{o1}$	5V
出力電圧 $V_{o2}$	4V
負荷電流 $I_{o1}$	0.1A
負荷電流 $I_{o2}$	0.1A
インダクタ $L$	2 $\mu$ H
出力容量 $C$	400 $\mu$ F
動作周波数 $f$	200kHz



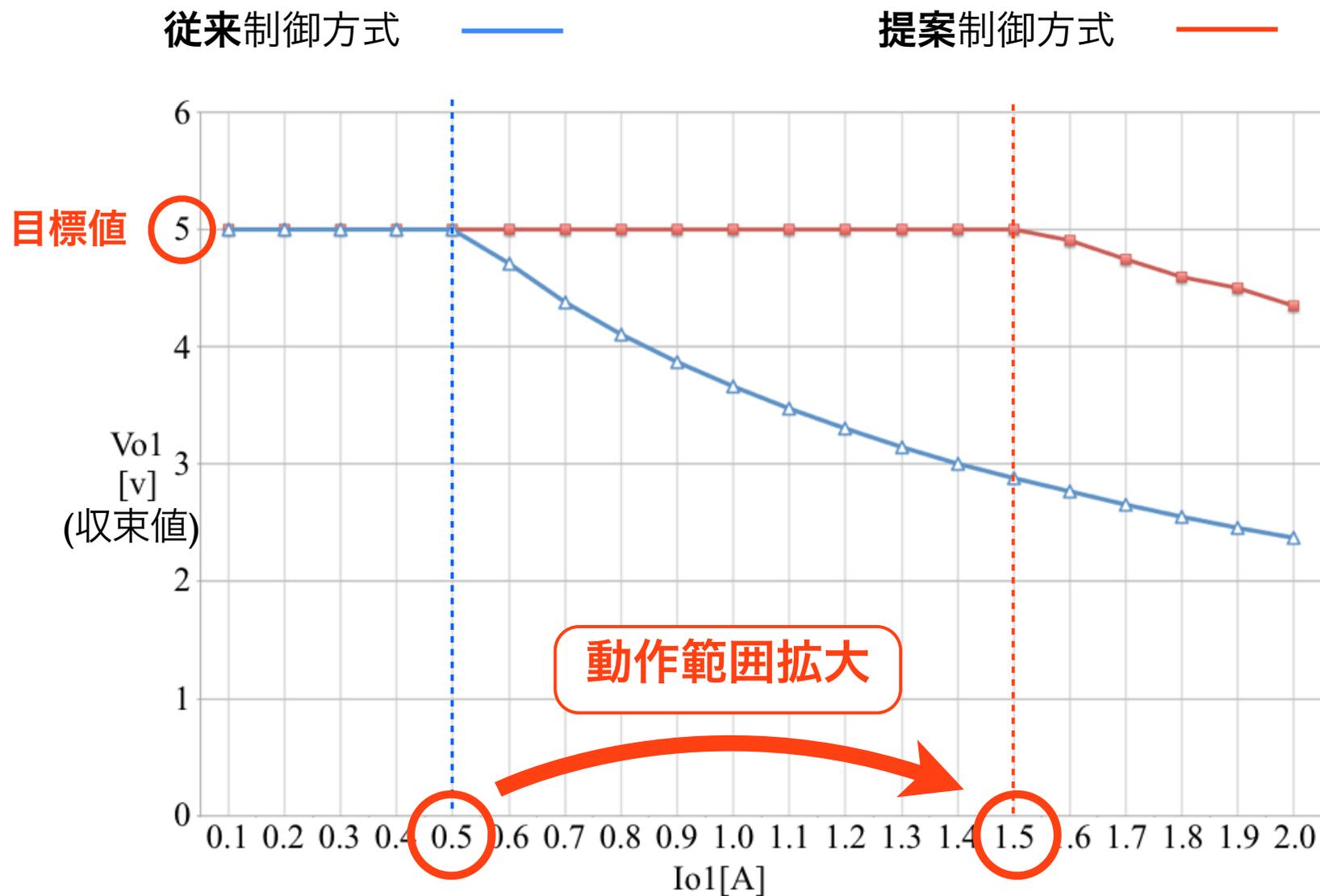
周期 $T_s = 5\mu s$

# シミュレーション結果( $I_{o2}=0.1A$ )



負荷電流比増加における動作範囲の検証結果

# シミュレーション結果( $I_{o2}=0.1A$ )



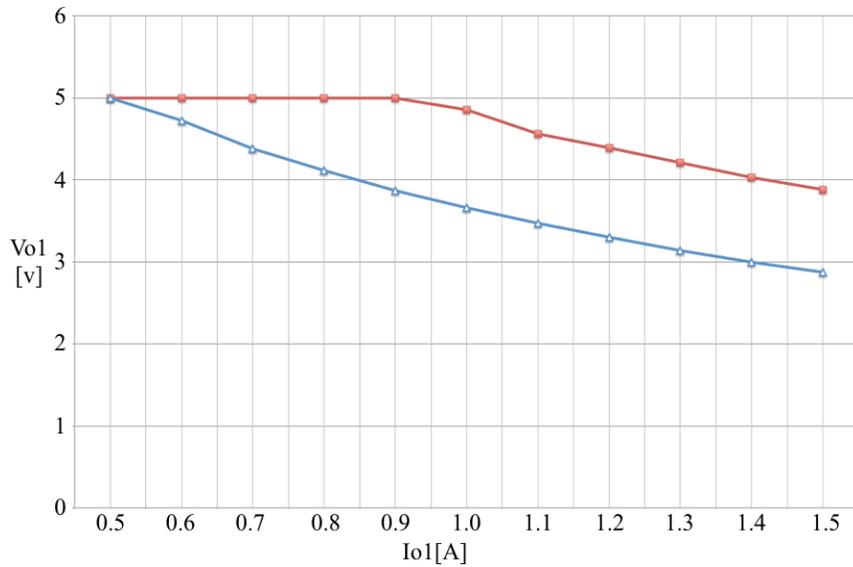
負荷電流比増加における動作範囲の検証結果

# シミュレーション結果

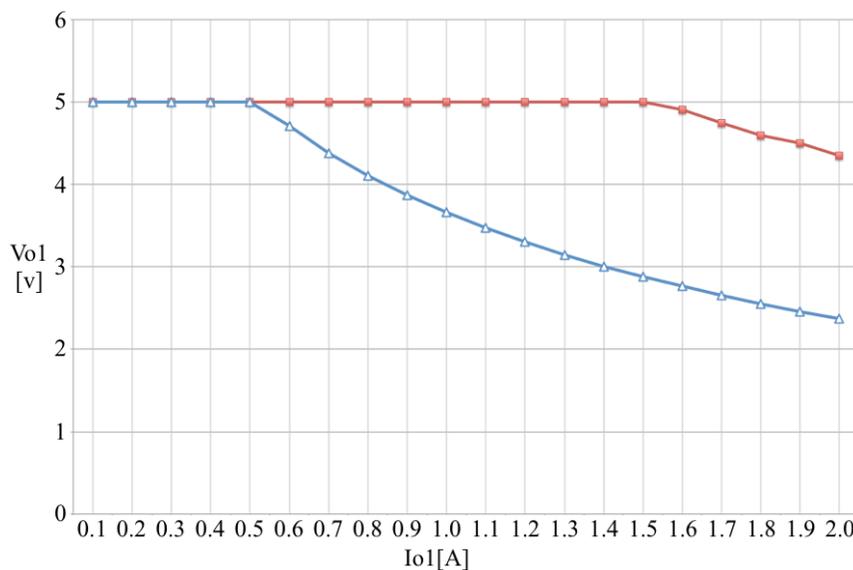
従来制御方式

— 提案制御方式

— 提案制御方式



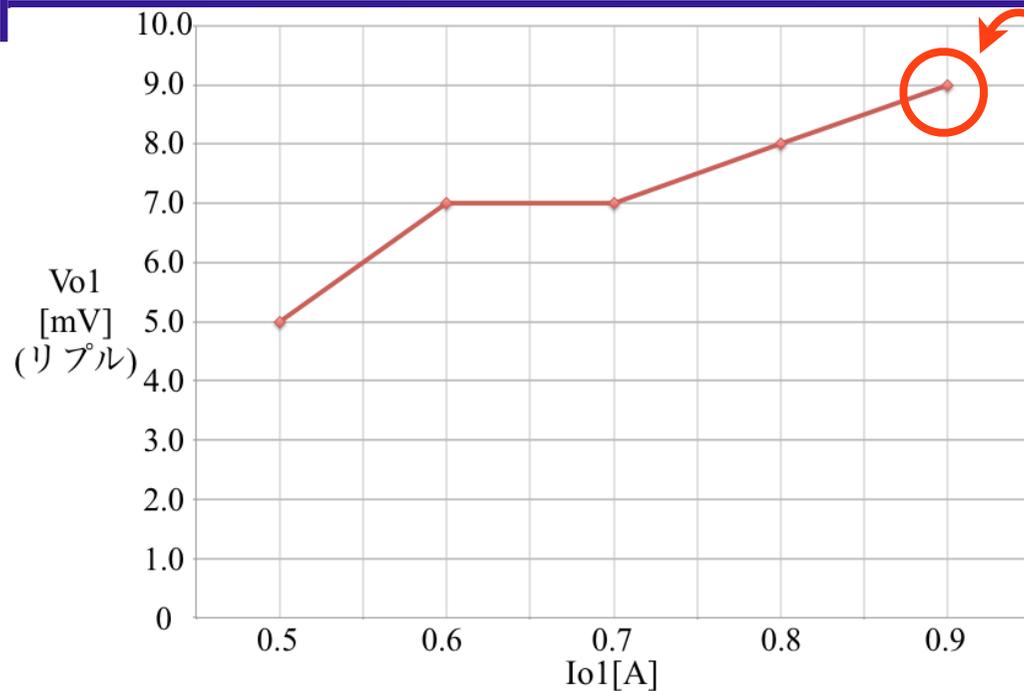
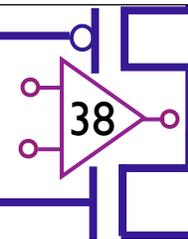
**Io2=0.5Aの場合 Io1=0.9Aまで動作**



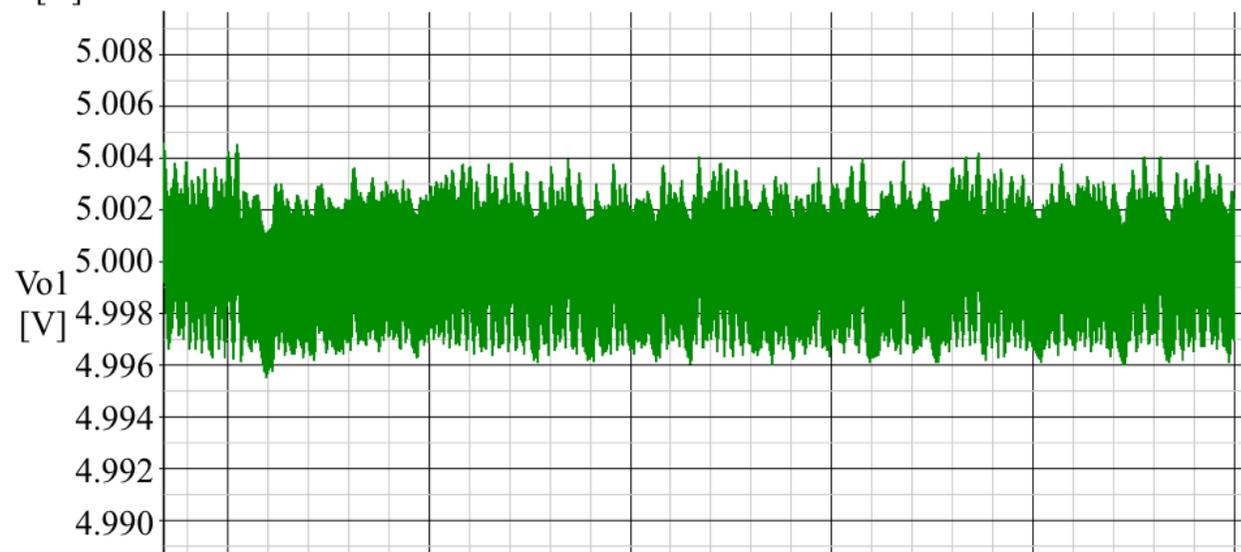
Io2の値が大きくなると  
Io1の範囲はせばまる

**Io2=0.1Aの場合 Io1=1.5Aまで動作**

# 出力リップル特性( $I_{o2}=0.5A$ )

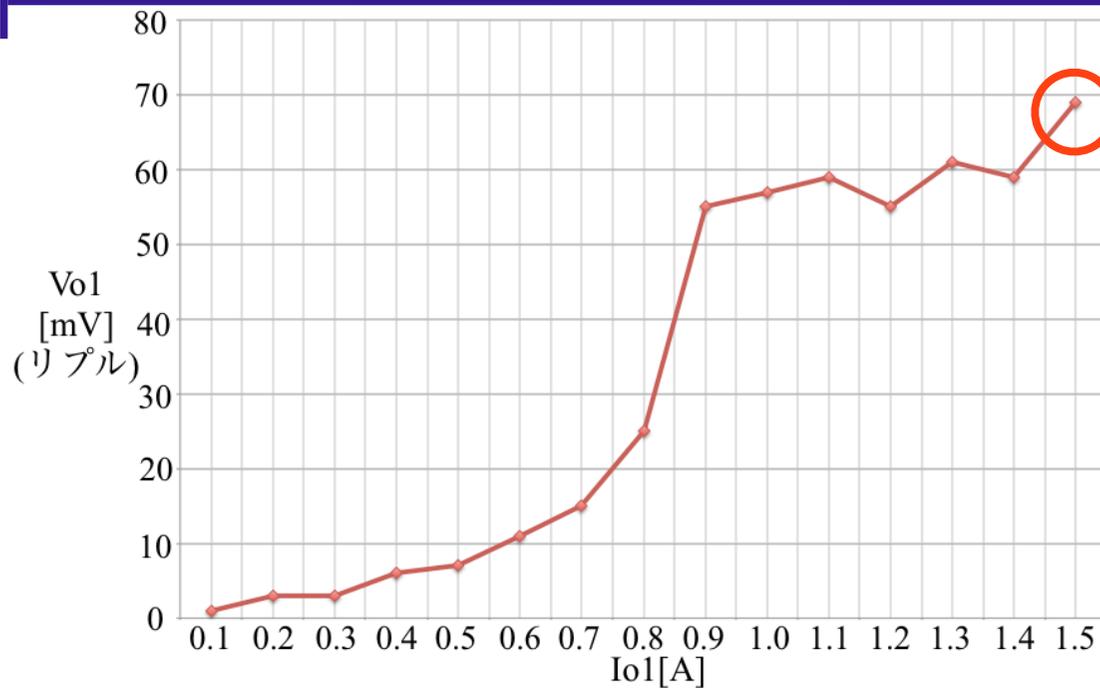
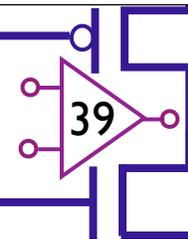


出力5Vに対し  
1%以下



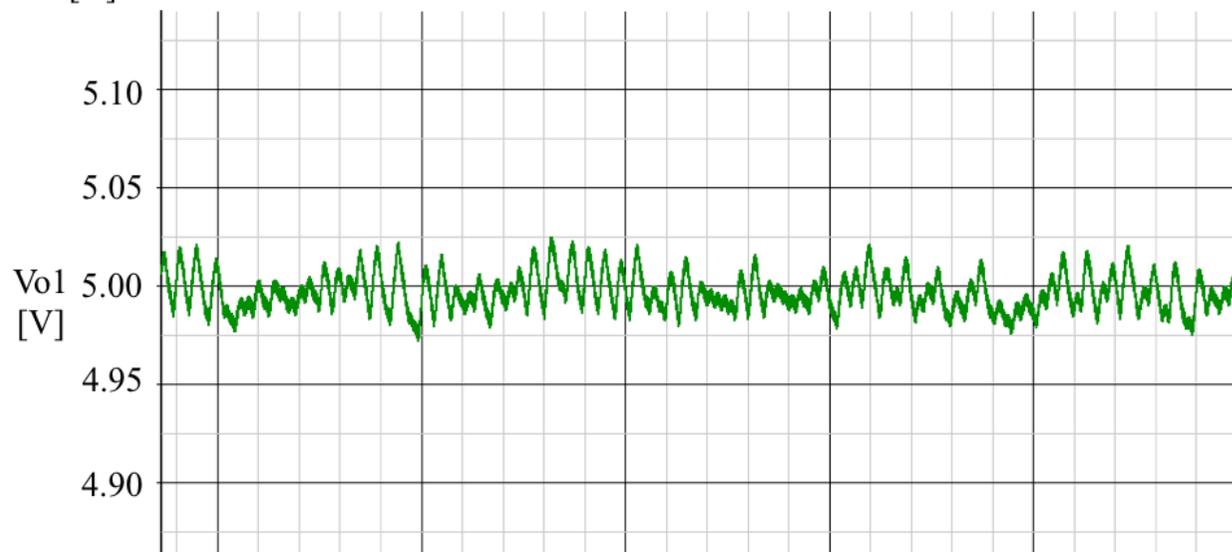
$I_{o1}=0.9[A]$ の時の $V_{o1}$ 波形

# 出力リップル特性( $I_{o2}=0.1A$ )



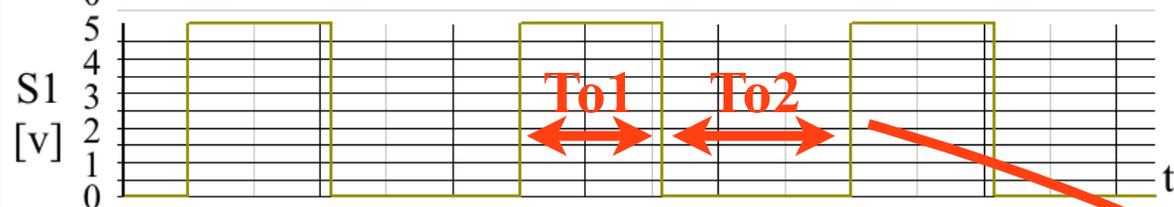
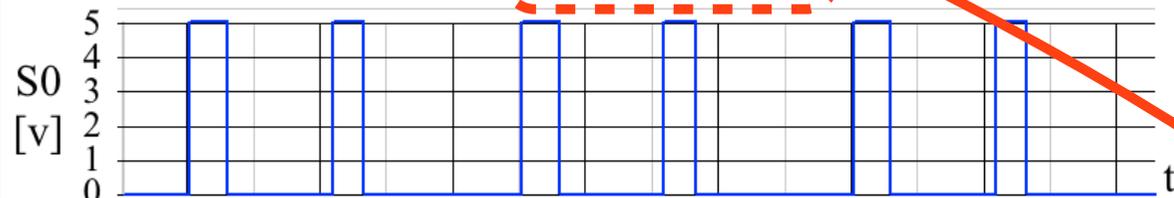
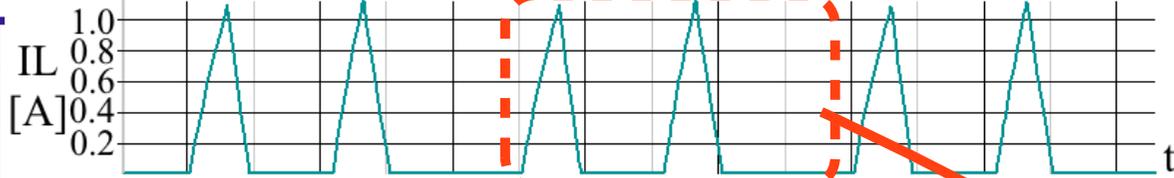
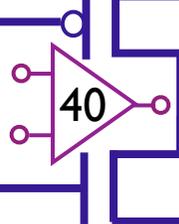
出力5Vに対し  
1.5%程度

制御時間比率の変動による  
波形の不安定化

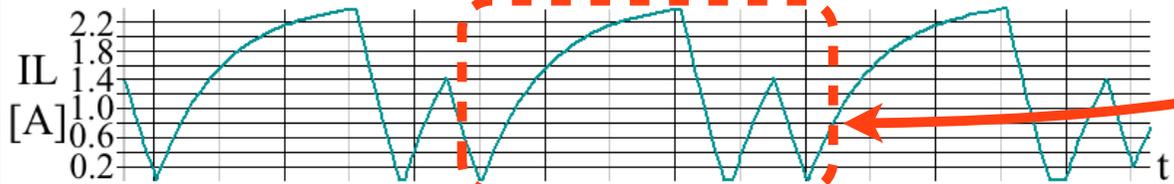


$I_{o1}=1.5[A]$ の時の $V_{o1}$ 波形

# 制御時間比率 変化の様子 各スイッチ信号とインダクタ電流波形



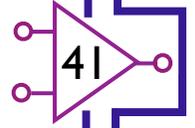
$I_{o1}=0.1A, I_{o2}=0.1A$



$I_{o1}=1.5A, I_{o2}=0.1A$

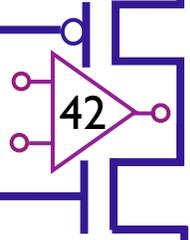
制御時間比率が変動し  
供給量を増加させている

# OUTLINE



- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路  
従来 of 制御方式の問題点
- 適応PWM方式
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

# まとめと今後の課題



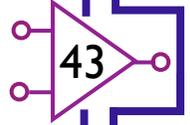
## まとめ

- 降圧-降圧形SIDO電源回路において新しい制御方法適応PWM制御方式を提案
- 負荷電流比を増加させていったときの動作範囲を3倍に拡大することを実現。  
従来制御方式  $I_{o1}:I_{o2}=0.5A:0.1A$   $\Rightarrow$  提案制御方式  $I_{o1}:I_{o2}=1.5A:0.1A$

## 今後の課題

- 更なる動作範囲の拡大
- 昇圧形、昇降圧形電源回路への応用
- 実装回路の検討

# Q&A



- ①周波数を変えて改善を加えることはできないの？
- ②周波数低いとレギュレーション、レスポンスわるくなる？
- ③Verrorの変位のタイミングはいつ？  
出力誤差をみてるの？