

温度及び電源電圧に依存しない 改良永田穰電流ミラー回路の研究

群馬大学理工学部電子情報理工学科
情報通信システム第2 小林研究室
4年 細野貴司

OUTLINE

- ◆ 研究背景・目的
- ◆ 永田穰電流ミラー回路
- ◆ 従来の改良回路案(平野電流源)
- ◆ 提案回路
 - └ シミュレーション結果
- ◆ まとめ

OUTLINE

- ◆ 研究背景・目的
- ◆ 永田穰電流ミラー回路
- ◆ 従来の改良回路案(平野電流源)
- ◆ 提案回路
 - └ シミュレーション結果
- ◆ まとめ

研究背景

多くのアナログICは**基準電流源** (電圧源) が必要



PVT変動に対して安定

P: Process (プロセス)

V: Supply voltage (電源電圧)

T: Temperature (温度)

バンドギャップリファレンス回路



- 複雑な構成
- 面積が大きい

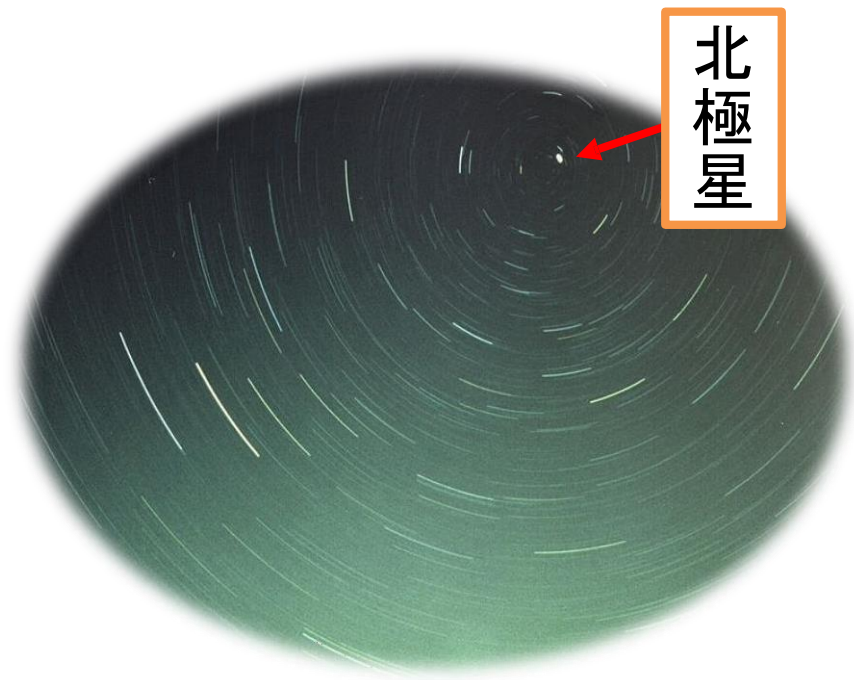
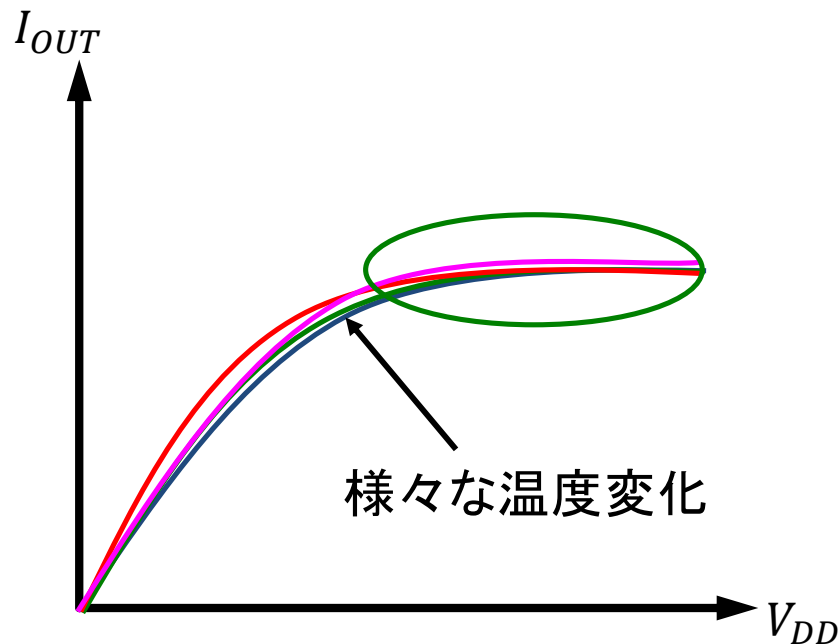
永田穰電流ミラー回路



- シンプルな構成
- 電源電圧の変動に対して一定の電流を持つ

研究目的

永田穰電流ミラー回路をもとに
簡単な構成で、ある程度精度が良い
電源電圧及び温度が変動しても、
一定の電流を出力できる回路の設計

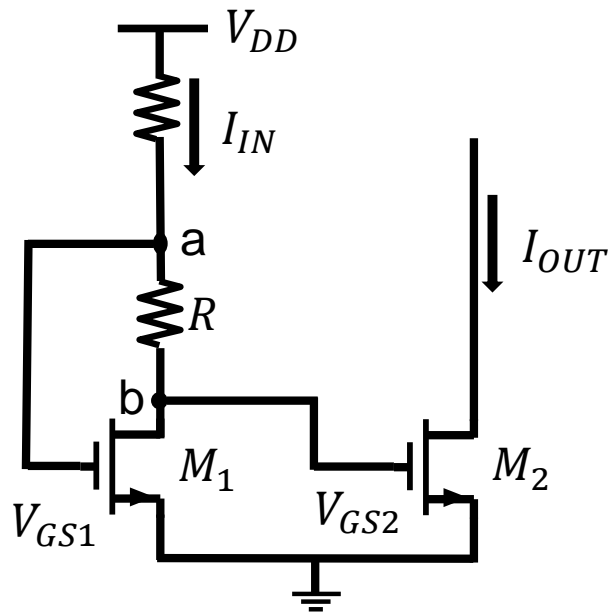


周りの環境の変化に影響されない

OUTLINE

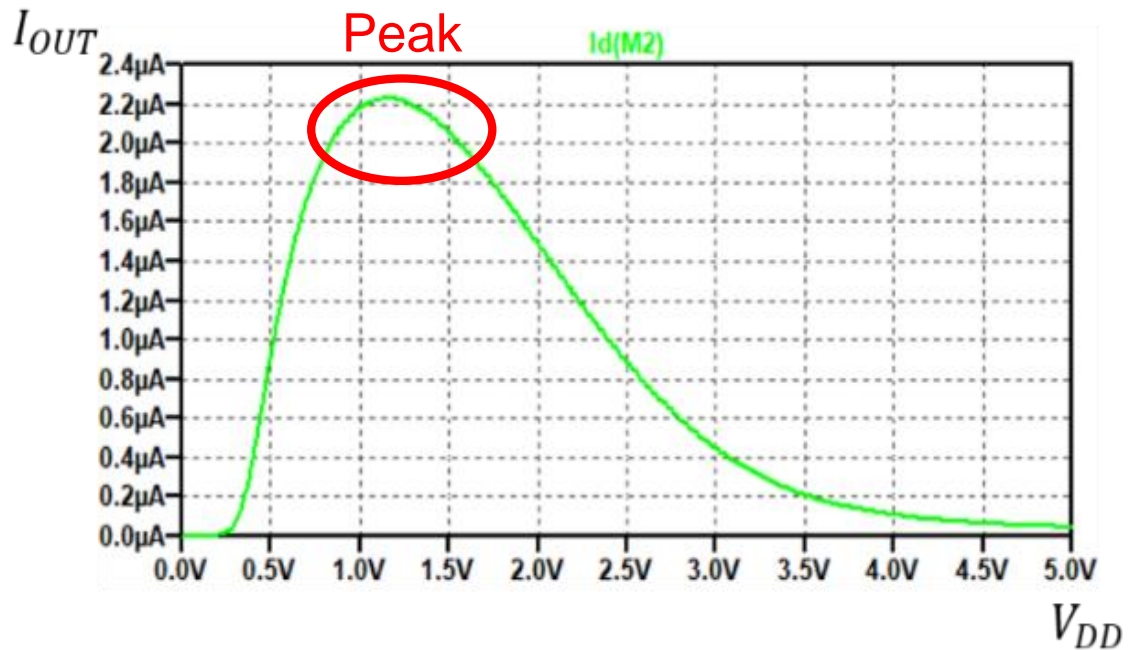
- ◆ 研究背景・目的
- ◆ 永田穰電流ミラー回路
- ◆ 従来の改良回路案(平野電流源)
- ◆ 提案回路
 - └ シミュレーション結果
- ◆ まとめ

永田穰電流ミラー回路



永田電流ミラー回路

発明 1966年 永田穰氏



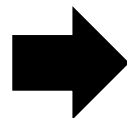
永田電流ミラー回路の特性

入力電流において出力電流がピークを持つ



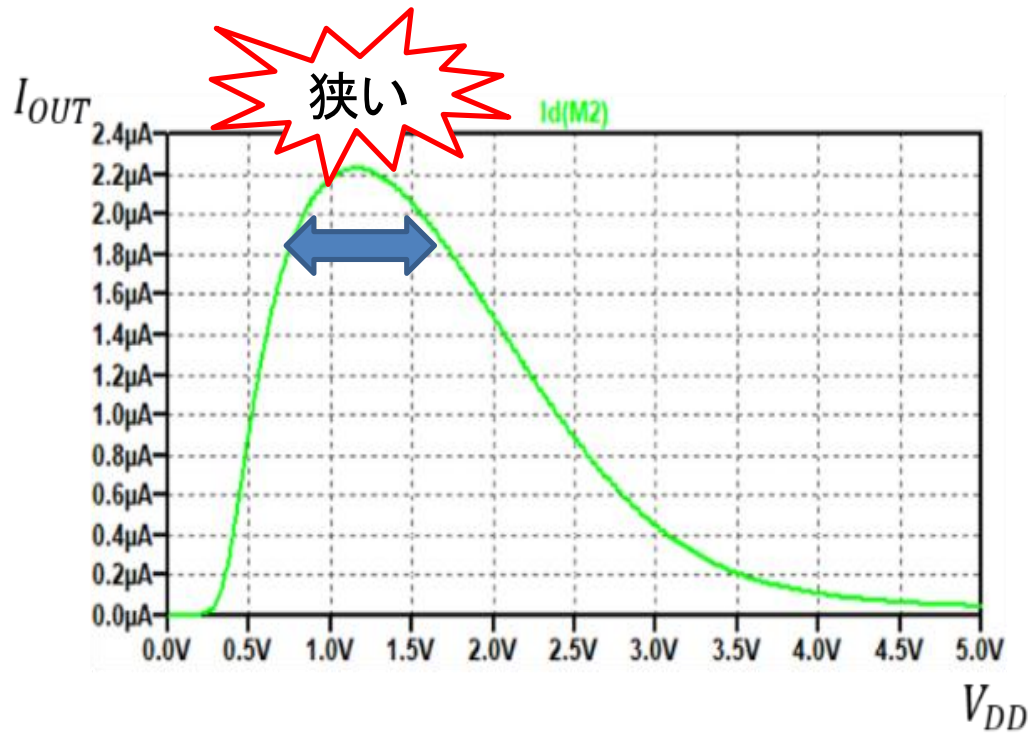
電源電圧に対する出力電流の変動を抑えている

シンプルな構成



DC-DC converter ICなどに使用

永田穰電流ミラー回路の改良点



改良の余地

出力電流が一定となる範囲が
非常に狭い

↳ 広げる

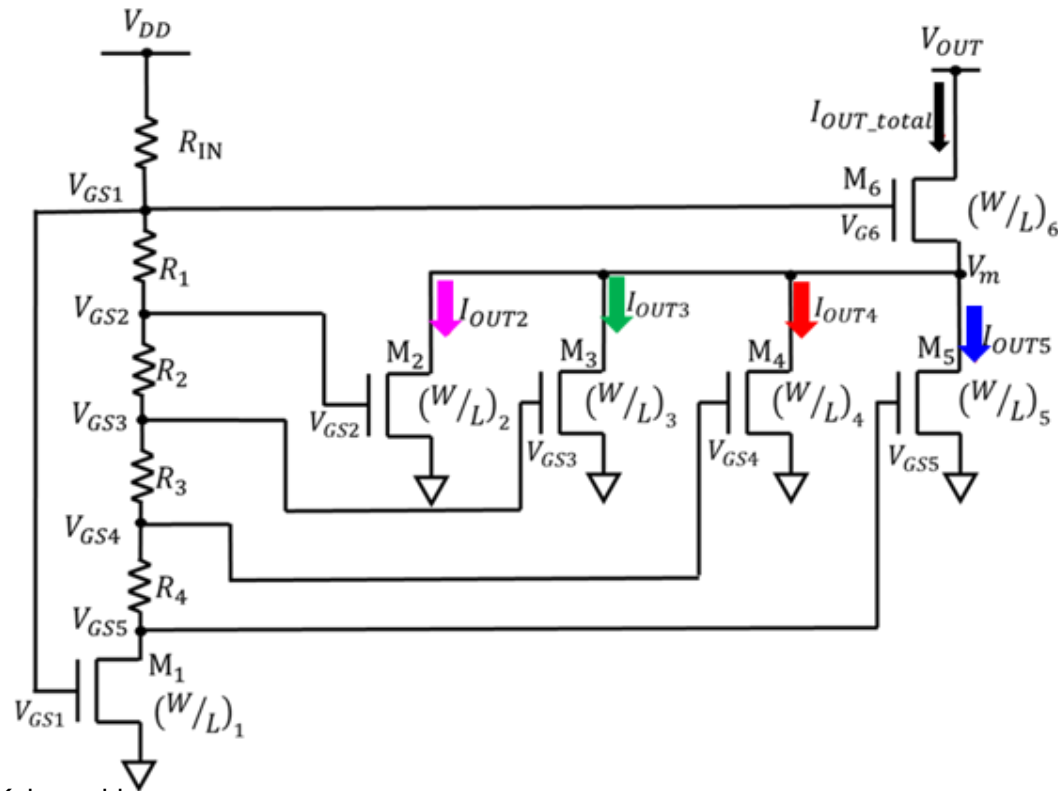
方針

複数の永田穰電流ミラー回路を用いて異なるピークを足し合わせる

OUTLINE

- ◆ 研究背景・目的
- ◆ 永田穰電流ミラー回路
- ◆ 従来の改良回路案（平野電流源）
- ◆ 提案回路
 - └ シミュレーション結果
- ◆ まとめ

従来の改良回路案（平野電流源）



M. Hirano, N. Tsukiji, H. Kobayashi,

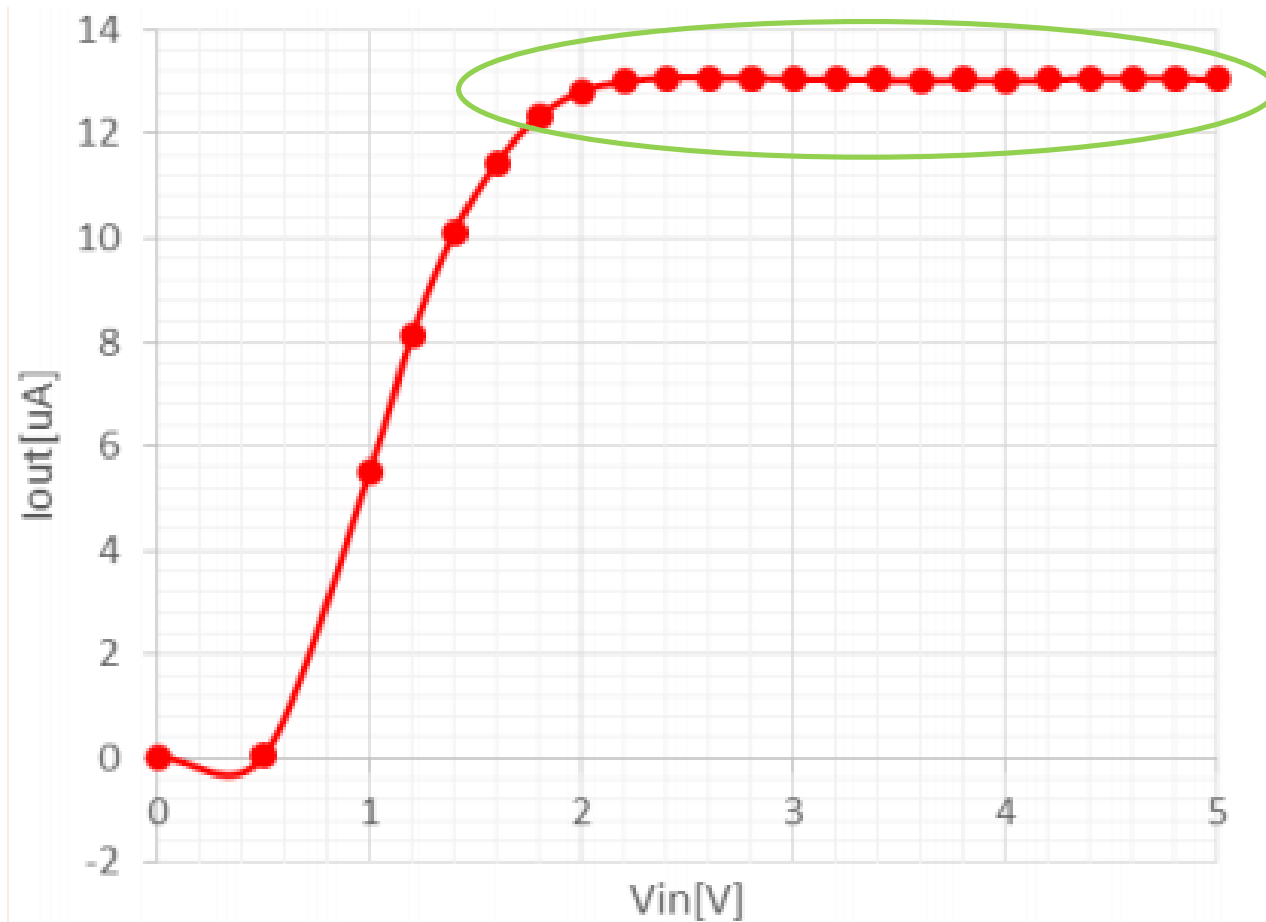
"Simple Reference Current Source Insensitive to Power Supply Voltage Variation - Improved Minoru Nagata Current Source",
IEEE 13th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology, Hangzhou, China (Oct. 2016).

複数の永田穰電流ミラー回路を用いて異なるピークを持つ構成



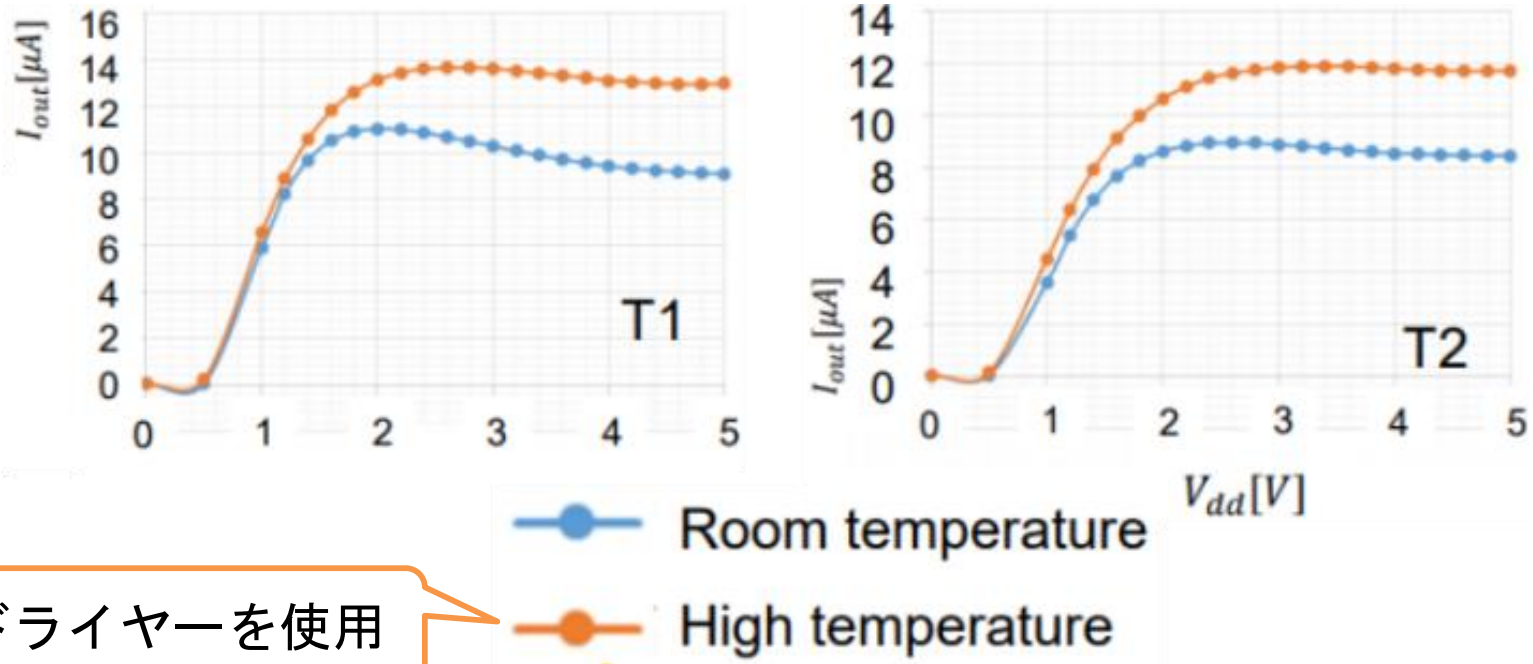
電源電圧が変動しても一定の電流を出力できる回路

従来の回路案の測定結果



シンプルな構成で総出力電流はほぼ一定のため良さそうに見える、、が・・・

従来の回路案の温度特性(実測値)



ヘアドライヤーを使用

温度特性を持っている

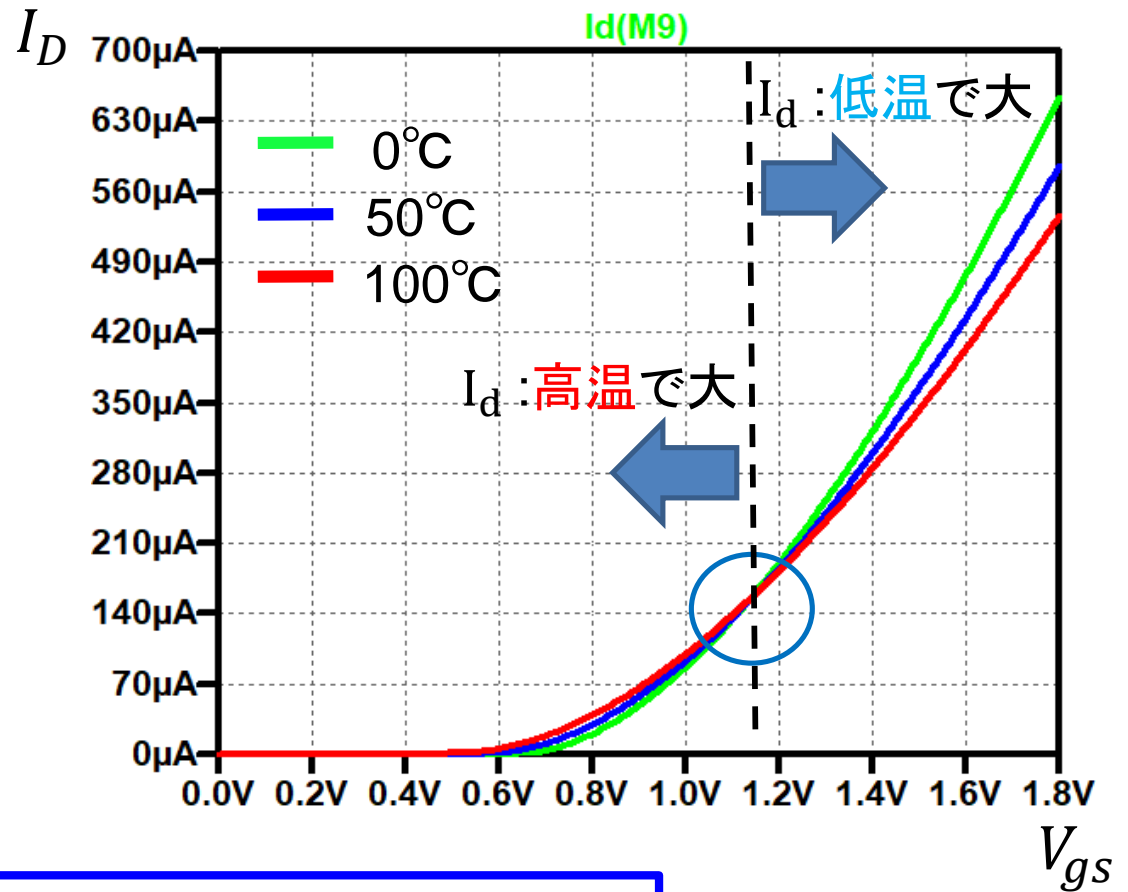
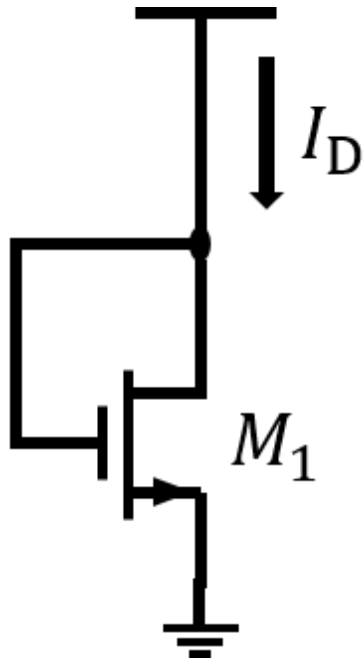


改良の余地あり

OUTLINE

- ◆ 研究背景・目的
- ◆ 永田穰電流ミラー回路
- ◆ 従来の改良回路案(平野電流源)
- ◆ **提案回路**
 - └ シミュレーション結果
- ◆ まとめ

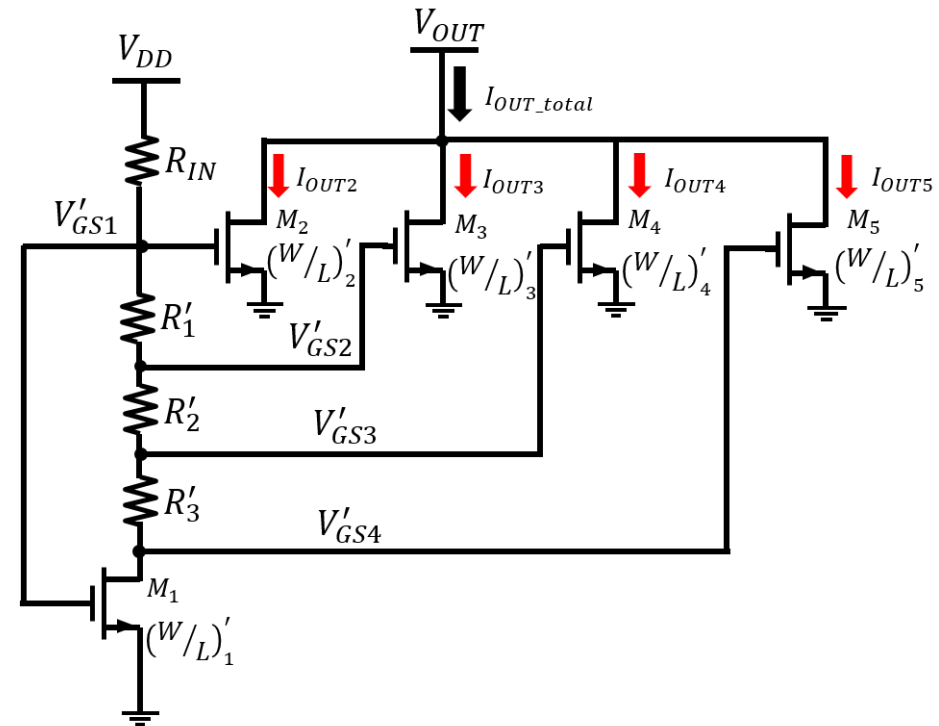
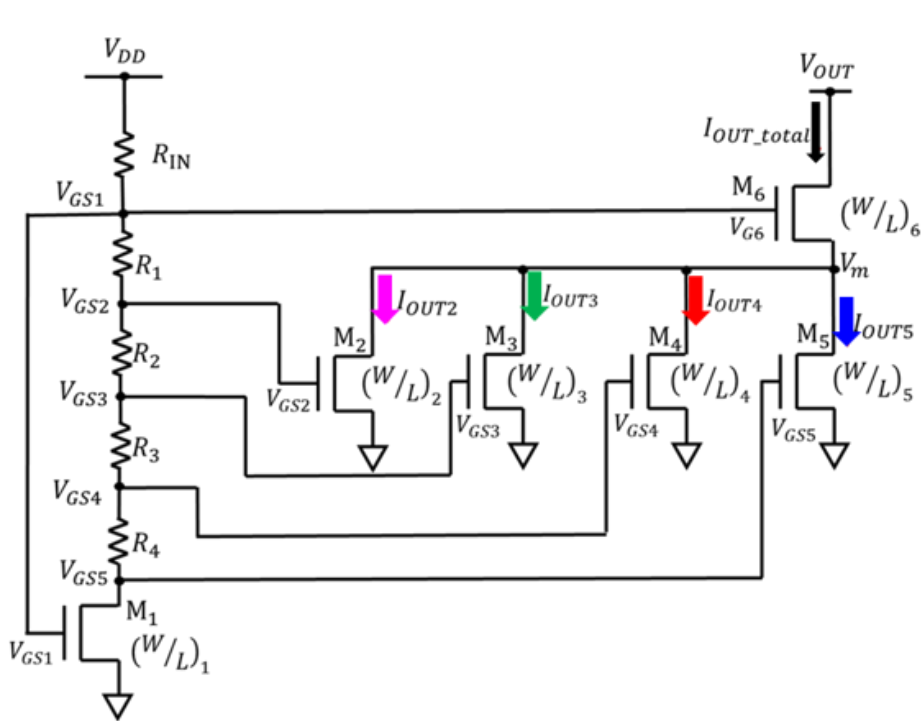
MOSFETの温度特性



MOSFETは温度特性を持つ

利用して**温度不感**の基準電流源を作る

比較



従来の改良回路(平野電流源)

提案回路

素子値を適切に設定し、MOSのドレイン電流温度特性を利用

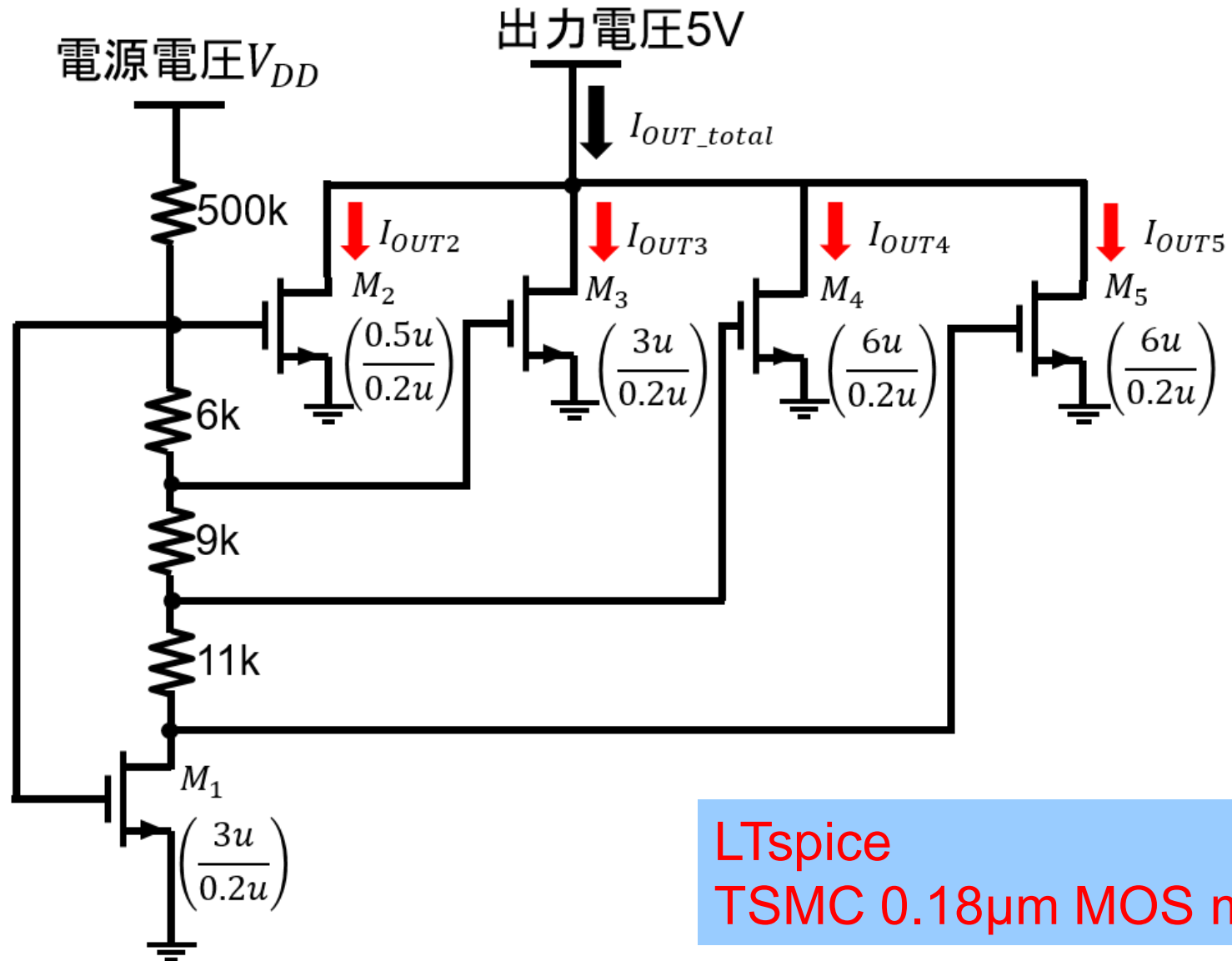


温度不感特性を実現！

OUTLINE

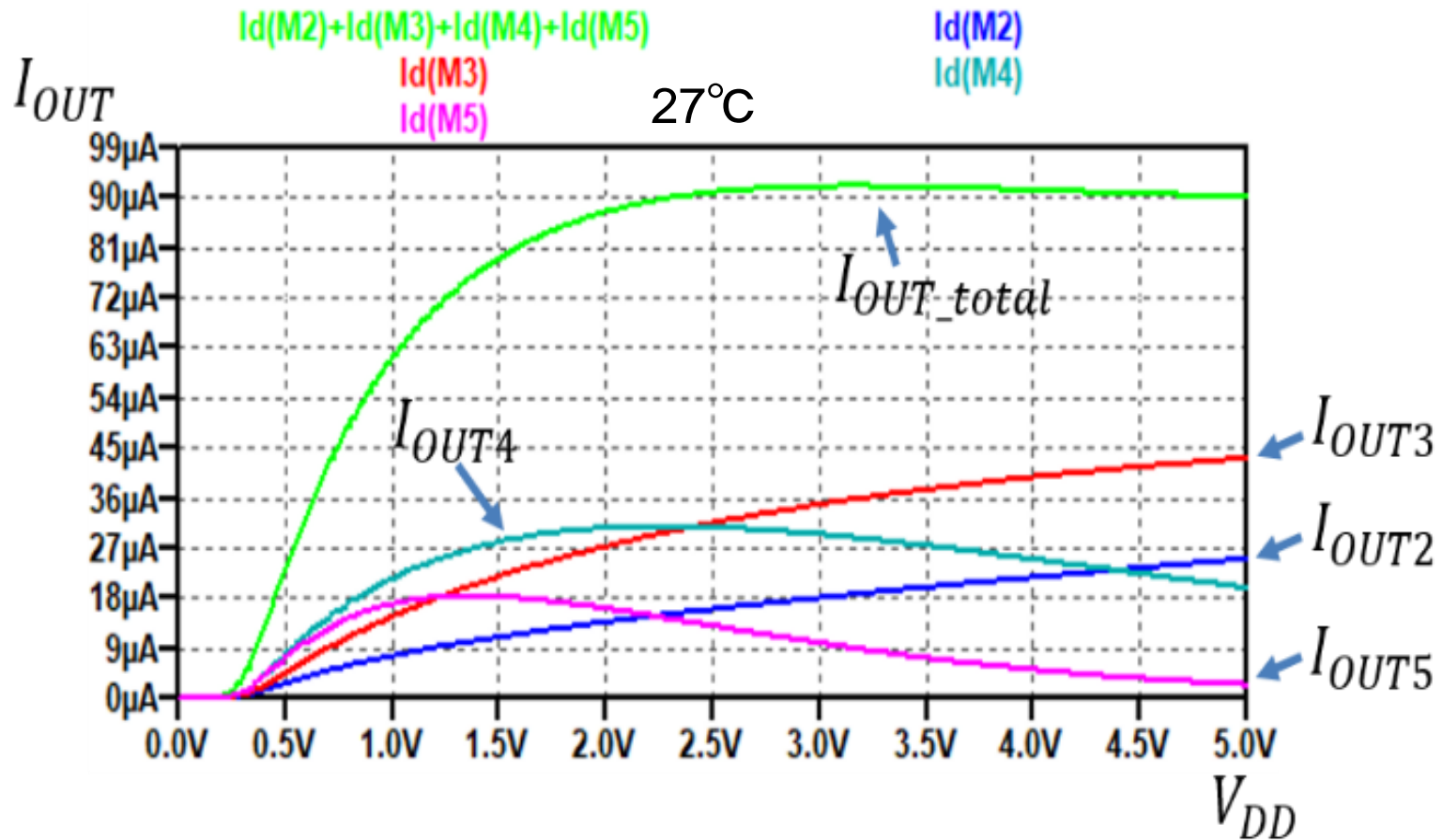
- ◆ 研究背景・目的
- ◆ 永田穰電流ミラー回路
- ◆ 従来の改良回路案(平野電流源)
- ◆ **提案回路**
 - ↳ **シミュレーション結果**
- ◆ まとめ

SPICE シミュレーション回路



LTspice
TSMC 0.18 μ m MOS model

シミュレーション結果



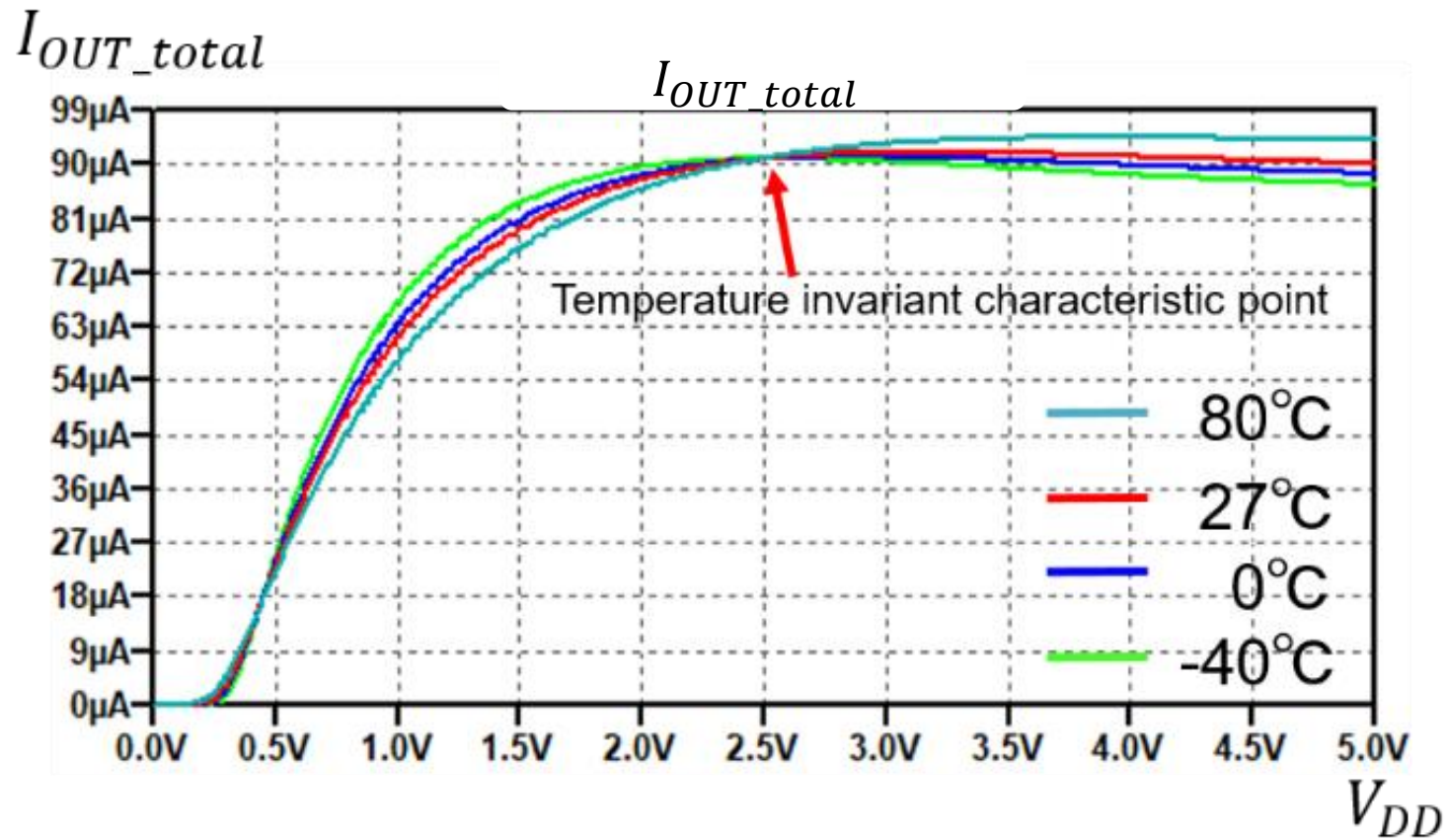
$$I_{OUT_total} \approx 90\mu\text{A}$$



V_{DD} に対して広範囲で出力電流が一定である

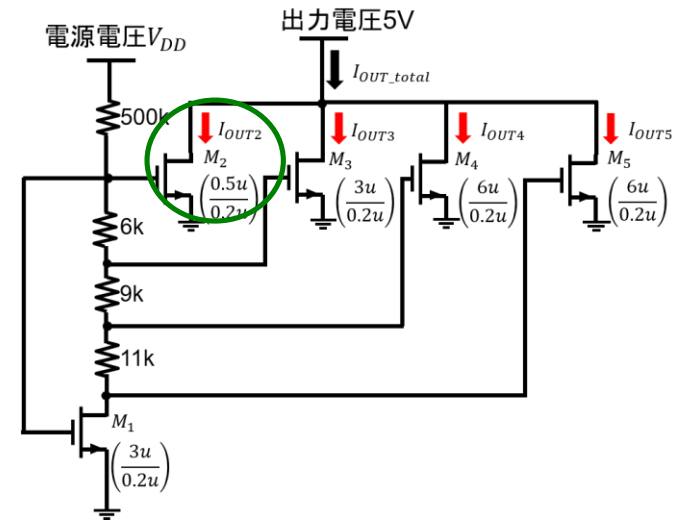
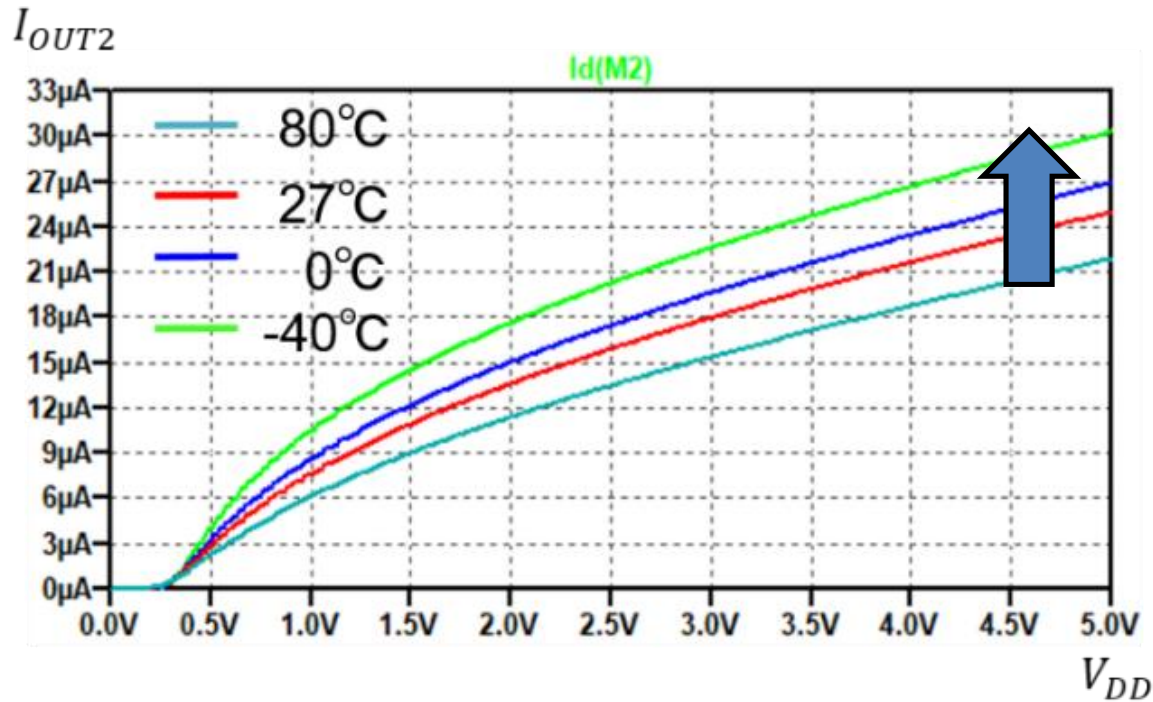
提案回路での温度変化

```
.TEMP -40 0 27 80
```



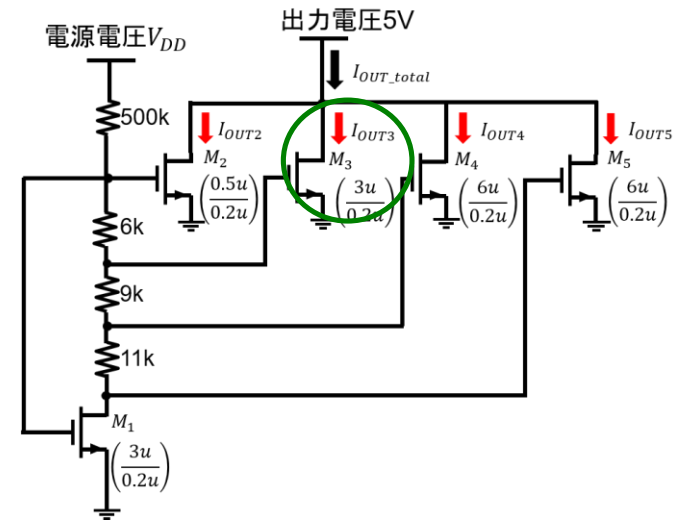
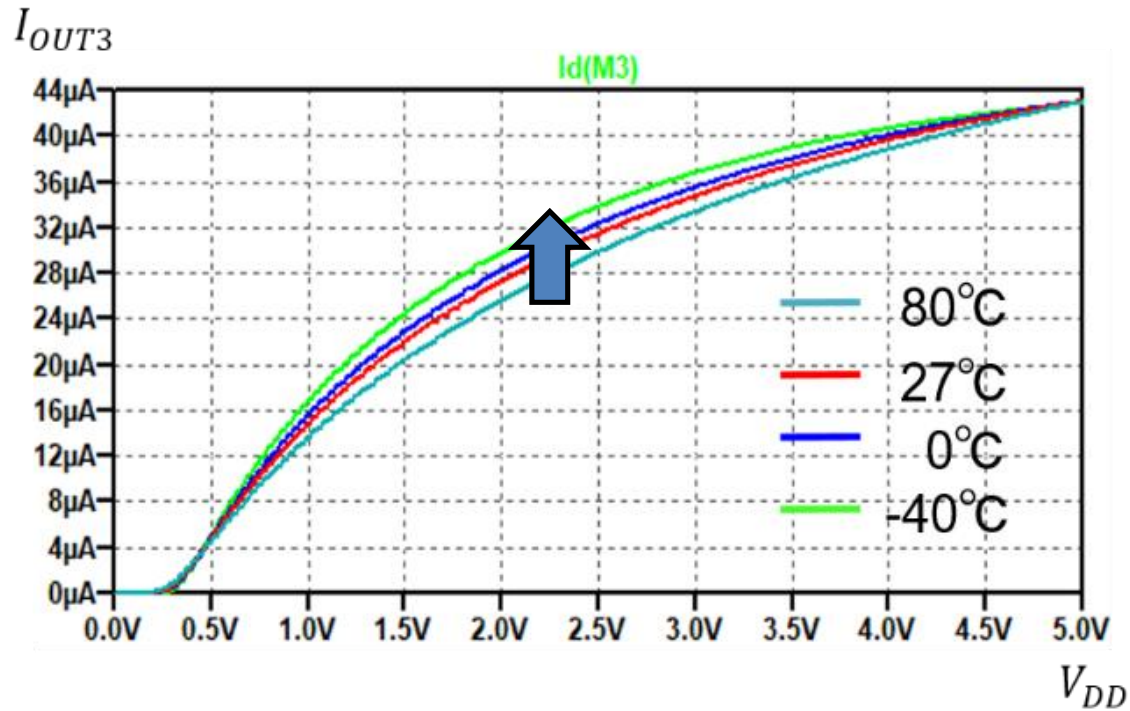
温度不感点が設定できた

M2を流れる電流



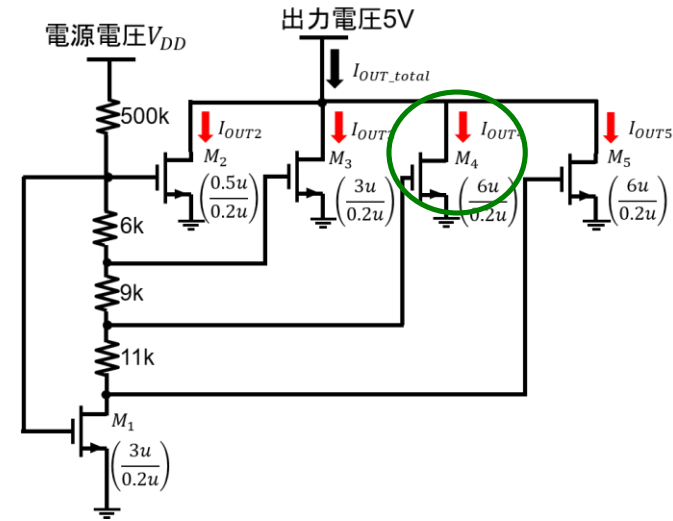
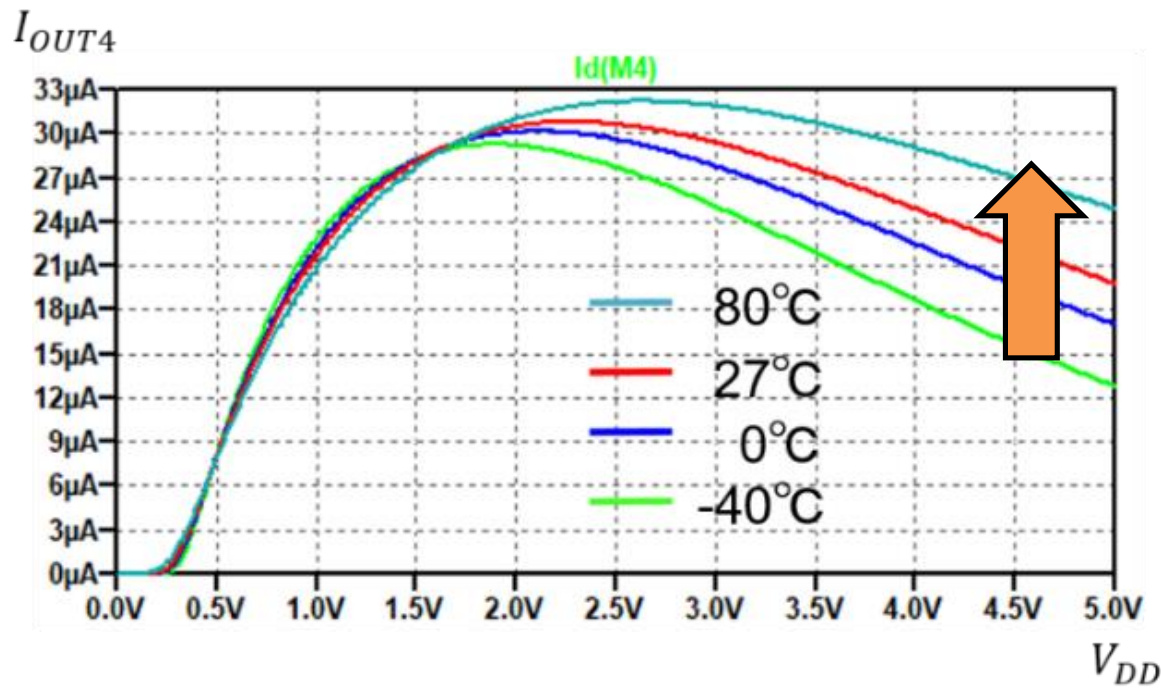
負の温度特性を持っている

M3を流れる電流



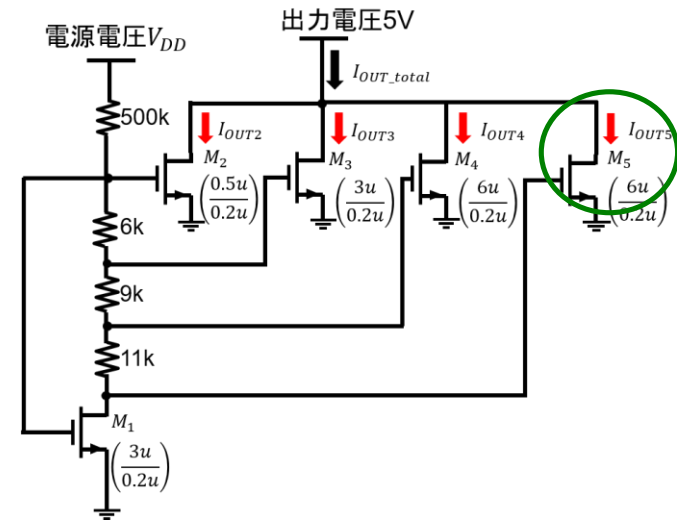
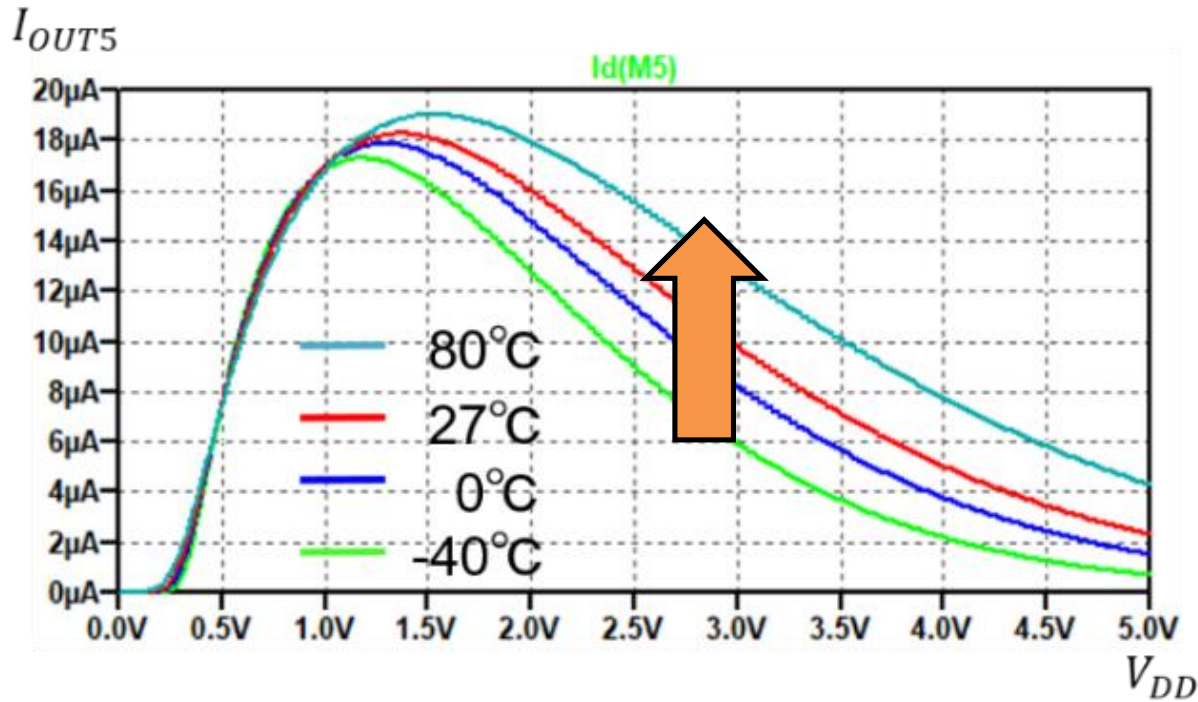
負の温度特性を持っている

M4を流れる電流



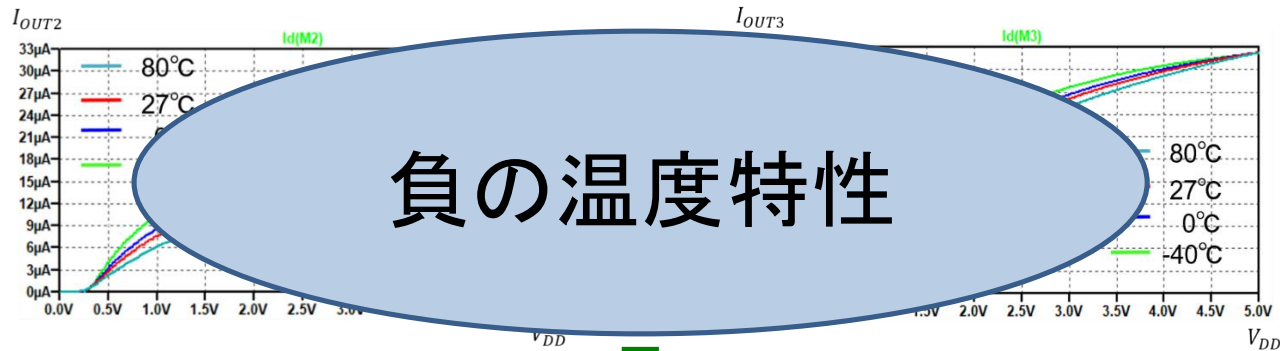
高電圧側で正の温度特性を持っている

M5を流れる電流

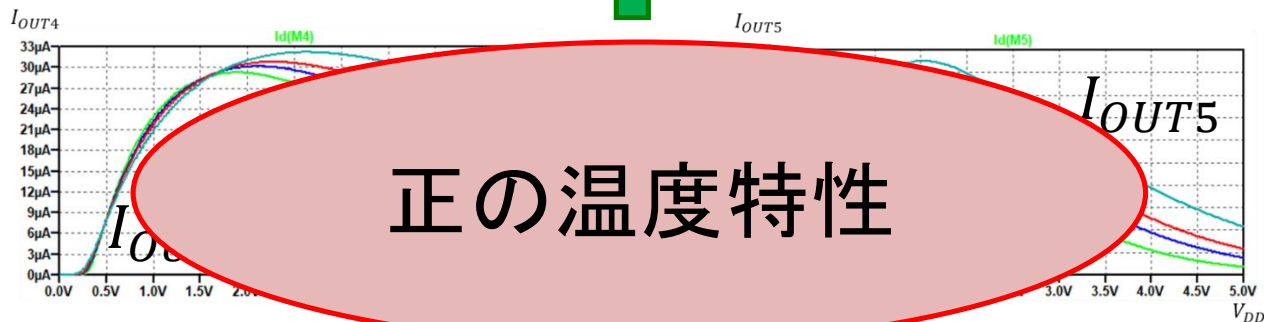


高電圧側で正の温度特性を持っている

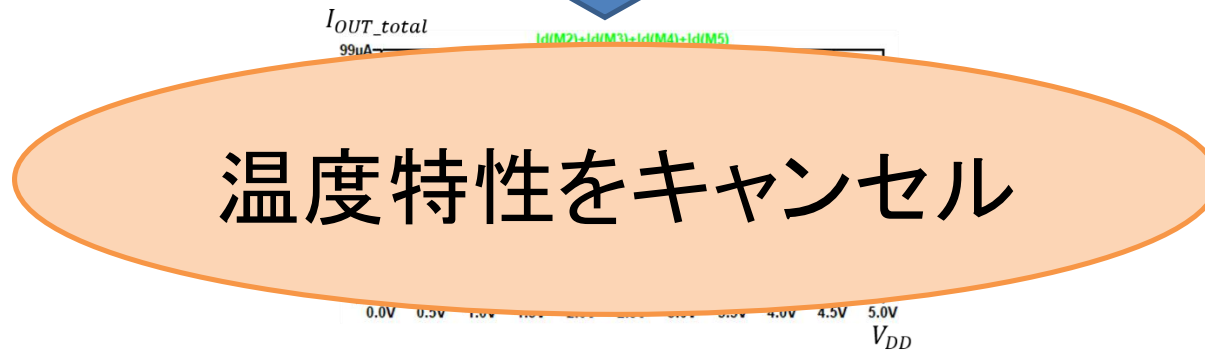
温度特性向上の理由



負の温度特性



正の温度特性



温度特性をキャンセル

OUTLINE

- ◆ 研究背景・目的
- ◆ 永田穰電流ミラー回路
- ◆ 従来の改良回路案（平野電流源）
- ◆ 提案回路
 - └ シミュレーション結果
- ◆ **まとめ**

まとめ

- MOS提案回路について示した。
- 比較

回路	電流一定範囲	温度
永田穰電流ミラー回路	Fair	Fair
平野電流源	Excellent	Fair
提案回路	Excellent	Good

- MOSサイズや抵抗値を適切に設定することで温度不感特性が向上した。
- 抵抗温度係数が既知の場合、素子値を設計しなおすことで温度不感特性が向上すると考えられる。
- 今回提案した電流源をもとにしたDACなどを考えていきたい。

研究実績

- [1] Takashi Hosono, Nene Kushita, Yukiko Shibasaki, Takashi Ida, Mayu Hirano, Nobukazu Tsukiji Anna Kuwana, Haruo Kobayashi (Gunma Univ.), Yoichi Moroshima, Hiromichi Harakawa, Takeshi Oikawa (ASO)
"Improved Nagata Current Mirror Insensitive to Temperature as well as Supply Voltage"
5th Taiwan and Japan Conference on Circuits and Systems, Nikko, Tochigi, Japan, August 19-21, 2019 Poster Presentation
- [2] 細野 貴司, 平野 繭, 井田 貴士, 串田 弥音, 柴崎 有祈子, 築地 伸和, 諸島 洋一, 原川 弘道, 及川 武士, 桑名 杏奈, 小林 春夫
「温度及び電源電圧に依存しない改良永田穰電流ミラー回路」
電気学会 電子回路研究会, ECT-019-115,
日本大学 理工学部 駿河台校舎タワー・スコラ (2019年12月19日)

質問1

- 弓仲先生

Q1. 正、負の温度特性は w に依存しているのか？

A. 依存しています。

Q2. トランジスタだけでなく抵抗の温度特性も考えると良いのでは？

A. 時間の都合上発表できませんでしたが、その場合についてもシミュレーションしています。

Q3. サイズはどのくらいか。一番小さい w の値は？

A. 一番小さい w は $0.5\mu\text{m}$ です。

- 本島先生

Q4. MOSの数を2つにしてみたらどうか。

A. 2つにしてしまうと、出力電流が一定になりにくくなるのではないかと考えています。

Q5. シリコンウェハ上の熱結合は考慮しているか？

A. そこまで考慮していませんでした。

質問2

- 江田先生

Q5. 従来の平野さんの回路に比べてデメリットはあるか？

A. 平野さんの回路はカスコード接続をとっている分、出力インピーダンスが高く電流源としての性能が出やすいと思います。

一方提案回路はカスコードではないため、電流源としての性能が保証できるかわかりません。そのため現在はカスコード接続をとった回路を作り、電流源として使えるような回路の作成を研究しています。