

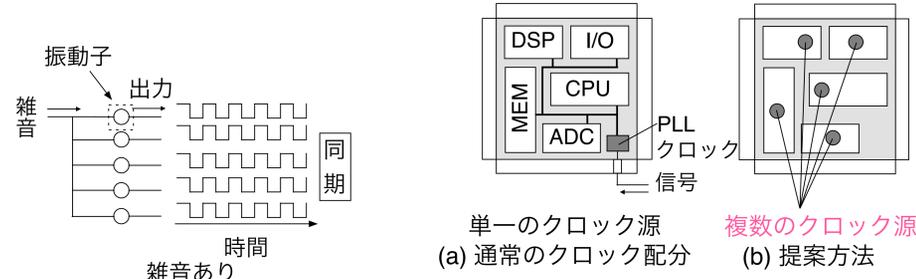
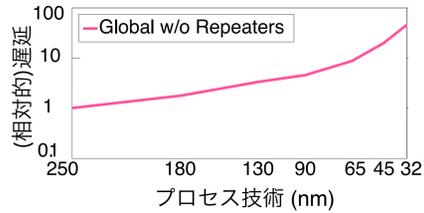
# アナログCMOS振動子群の雑音による位相同期手法

宇田川 玲, 浅井 哲也, 雨宮 好仁 (北海道大学 大学院 情報科学研究科 機能システム学研究室)

## 背景 & 目的

プロセス微細化

→ **クロック信号の遅延増大**



雑音による振動子の同期現象

チップ内に複数CMOS振動子

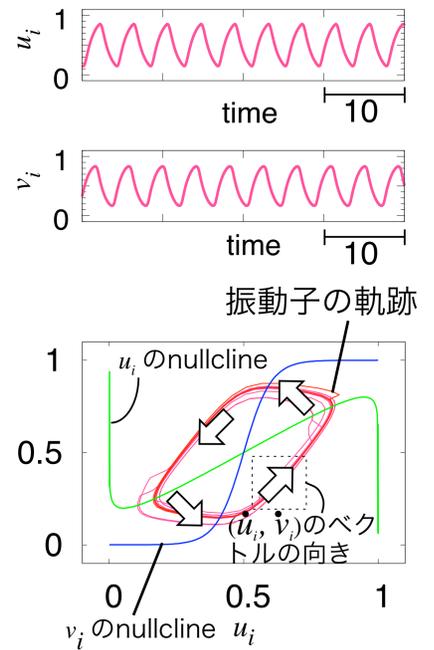
**雑音を使ってCMOS振動子群を同期**

## 振動子モデル

Wilson-Cowan振動子モデル

$$\begin{cases} \tau_1 \frac{du_i}{dt} = -u_i + f_\beta(u_i - v_i) + I(t), \\ \tau_2 \frac{dv_i}{dt} = -v_i + f_\beta(u_i - \theta), \end{cases}$$

$u_i, v_i$ : システム変数  
 $\tau_1, \tau_2$ : 時定数  
 $f_\beta(\cdot)$ : シグモイド関数  
 $I(t)$ : 雑音  
 $\theta$ : しきい値



**周期的な振動波形 & 雑音の効果を確認**

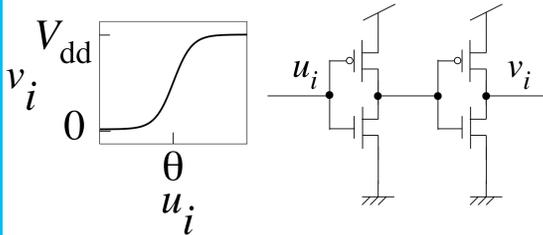
## 振動子モデルの回路化

$\tau_1, \tau_2$ が小さいと

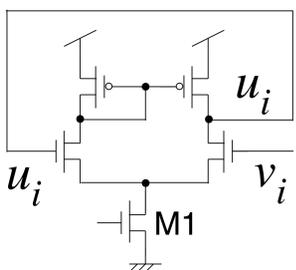
$$u_i \approx f_\beta(u_i - v_i), \quad (1)$$

$$v_i \approx f_\beta(u_i - \theta). \quad (2)$$

(2)の回路化  $v_i = V_{dd} \cdot f'(u_i - \theta)$

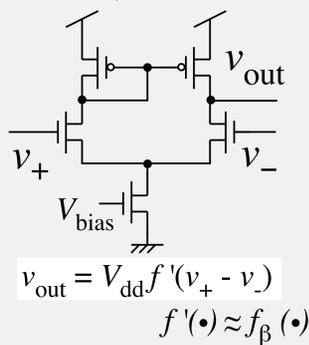


(1)の回路化  $u_i = V_{dd} \cdot f'(u_i - v_i)$

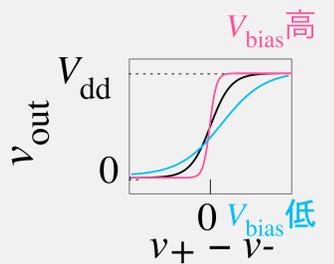


### OTA

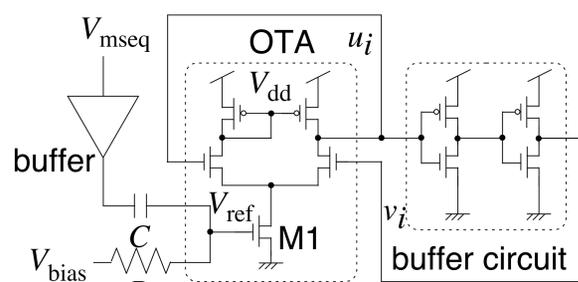
(回路構成)



(入出力特性)

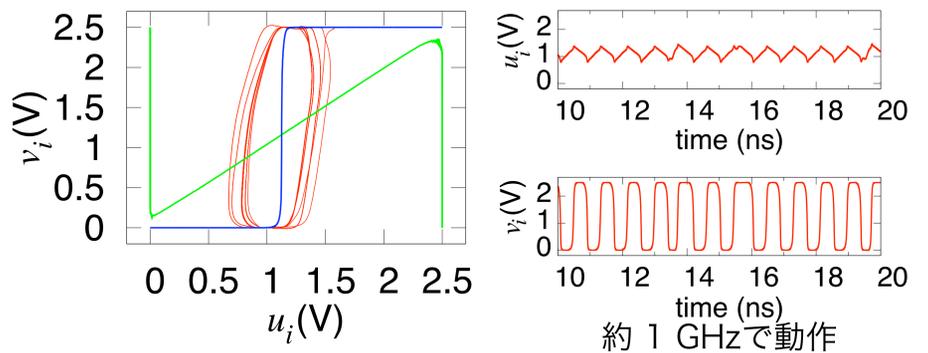


### 雑音源含む振動子回路の構成



雑音 ( $V_{mseq}$ ):  
 4 bit M系列発生器による  
 疑似乱数電圧  
 $R$ : 1 k $\Omega$ ,  $C$ : 20 fF  
 $V_{dd}$ : 2.5 V  
 CLK: 500 MHz  
 TSMC 0.25  $\mu$ m parameter  
 $W/L = 0.36 \mu$ m / 0.24  $\mu$ m  
 ただしM1のみ  
 $W/L = 0.36 \mu$ m / 2.4  $\mu$ m

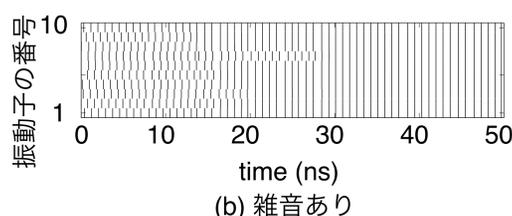
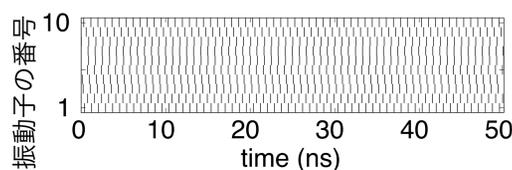
(回路動作)



**モデルの周期的振動・雑音の効果を再現できた**

## 回路シミュレーション結果

10個の振動子 & ランダムな初期値  
 クロックパルスの立ち上がり  
 を時系列順に縦棒線でプロット



雑音加えない → 非同期のまま

**雑音加える → 振動子群が同期**

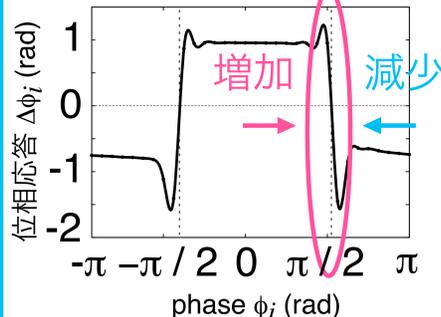
### なぜ同期したか?

雑音の刺激に対する  
 振動子の位相変化(正or負)

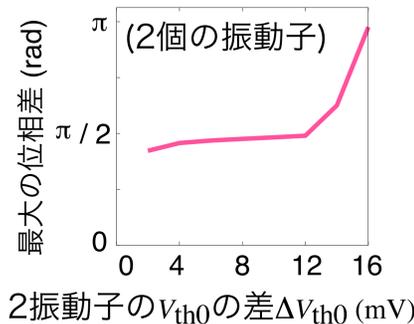
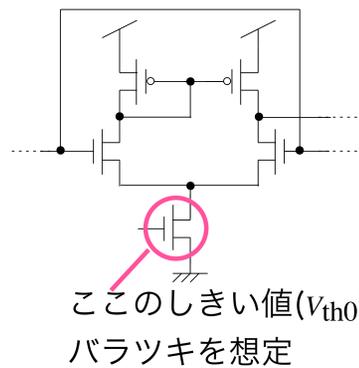
刺激タイミングに依存

刺激受け続けると

**位相が一定値に収束**

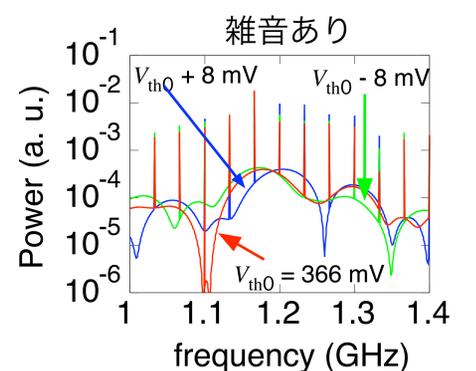
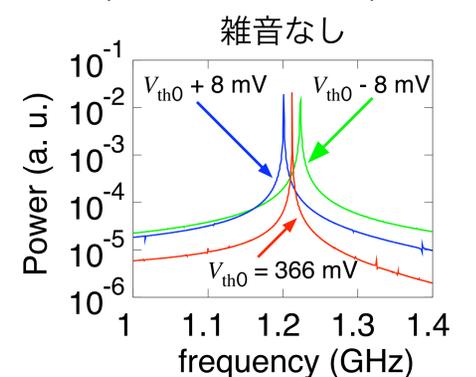


### しきい値バラツキの影響



**$\Delta V_{th0} < 12$  mV で位相同期**

(パワースペクトル)



**$\Delta V_{th0} < 16$  mV で周波数同期**