

# 近似計算回路の設計検証

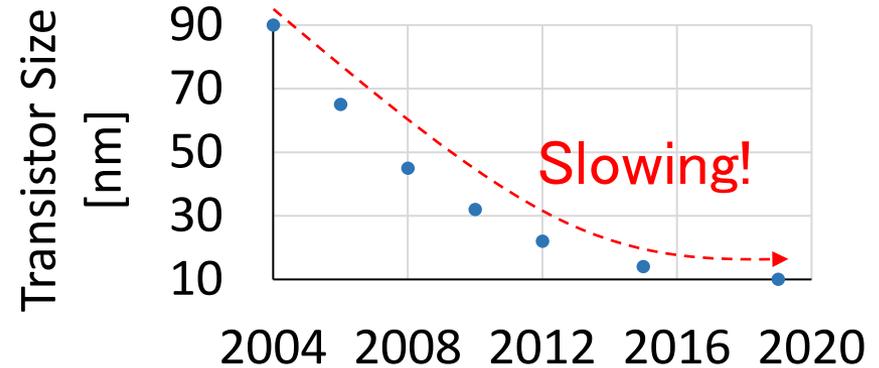
増田 豊

名古屋大学 大学院情報学研究科

# 研究背景: ポストムーア・コンピューティング<sup>2</sup>

## 半導体微細化の限界

- ムーアの法則の終焉
- 微細化と一線を画す革新的技術への要望



## ポストムーア時代: 質の異なるパラダイムの開拓

- 量子コンピューティング
- 光コンピューティング
- 近似コンピューティング
- バイオコンピューティング
- ...

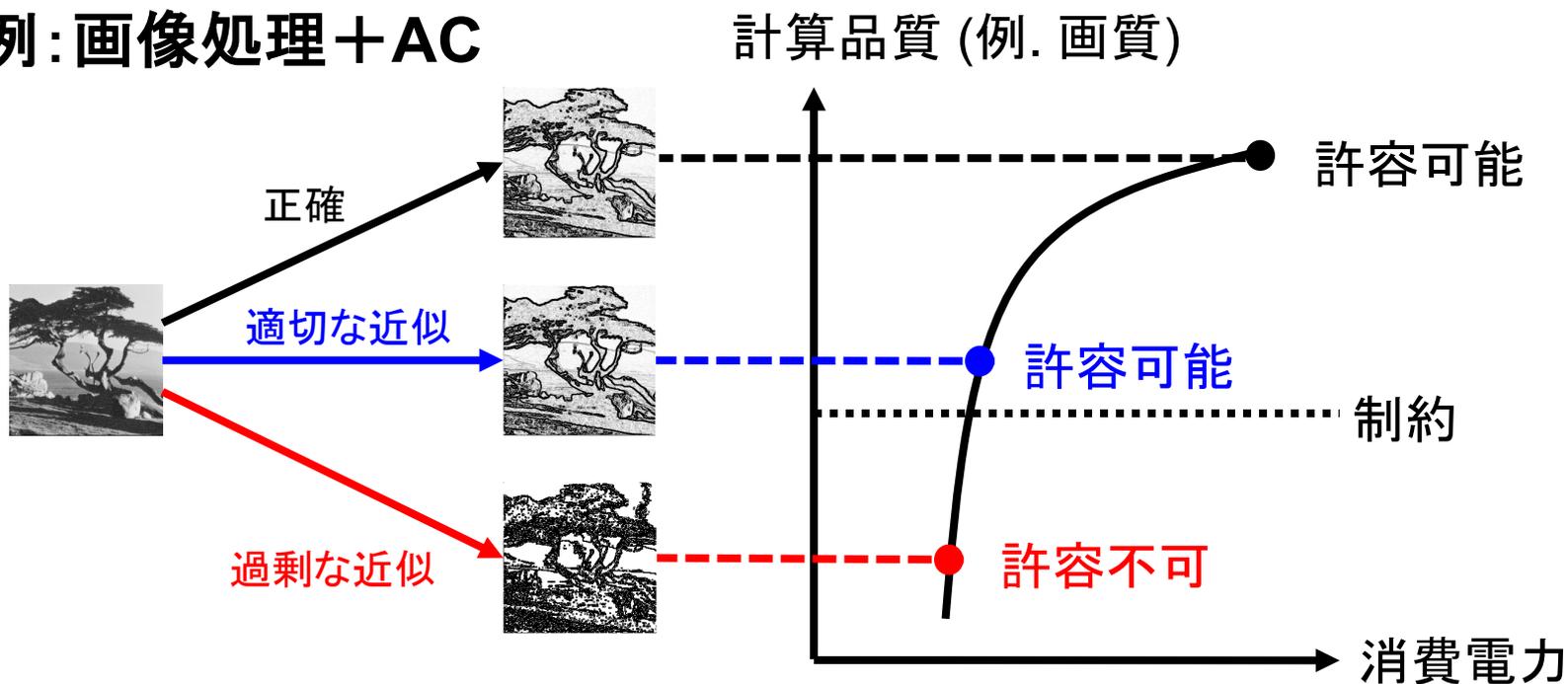
本日の内容:  
省エネ化を推進する  
コンピューティング技術

# 近似計算 (AC: Approximate Computing)

## 計算に近似を導入し、省電力化/小面積化を推進

- 機械学習、エッジ計算、画像処理などと高い親和性
- 計算品質をノブとする AC に着目

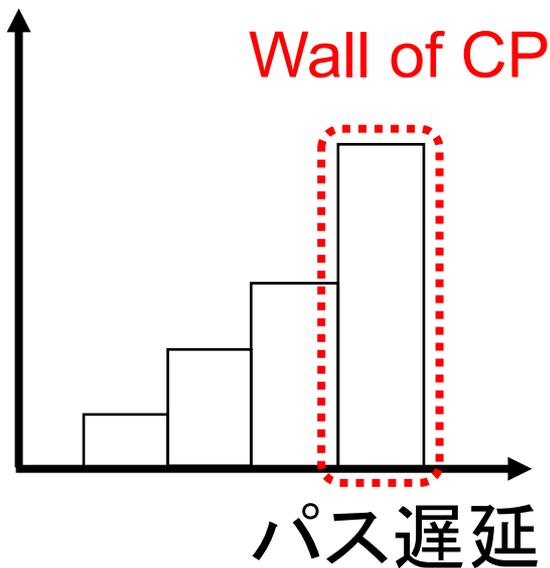
### 例: 画像処理 + AC



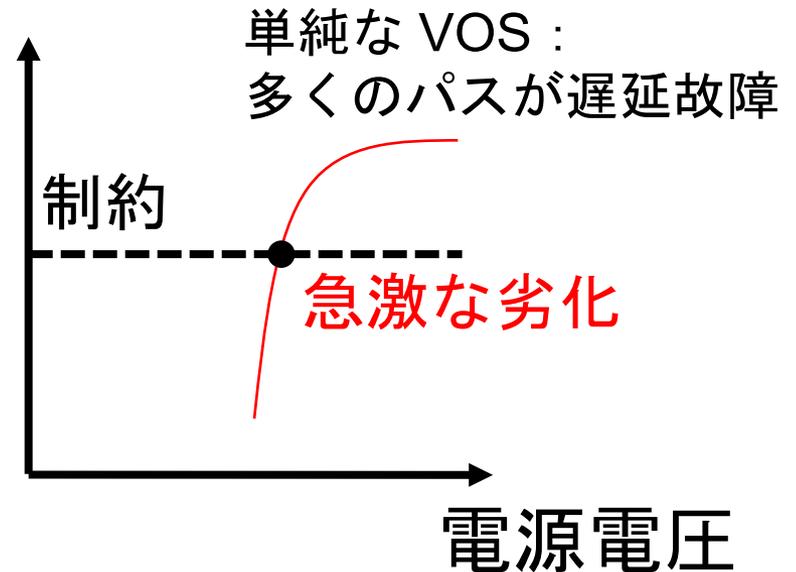
# 1. 過電圧スケールリング (VOS\*) に基づく電力削減<sup>4</sup>

- 計算品質の制約下で電源電圧を削減 → 省電力化
- VOS の課題: Wall of critical paths (CP)
  - ✓ 計算品質が急激に劣化

回路内のパス数



計算品質



\* Voltage Over Scaling

# 提案設計手法

「機能的近似」と「タイミング最適化」の協調

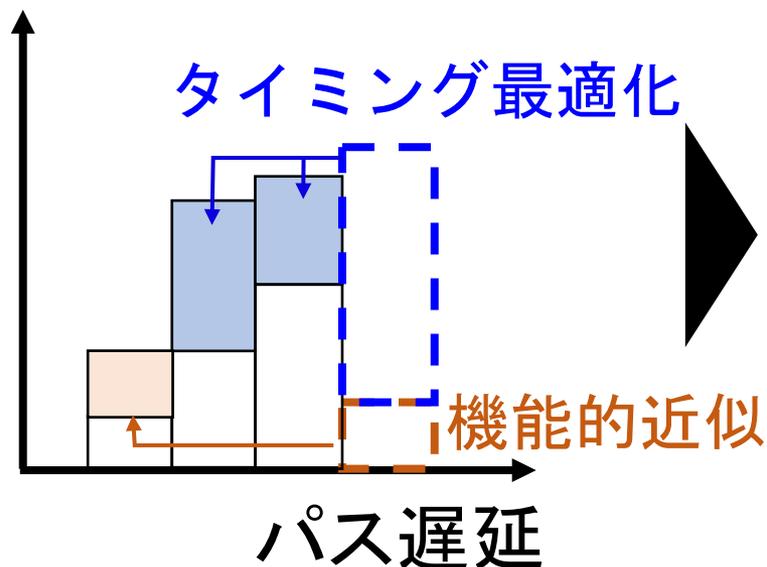
演算ビット幅

クリティカルパス遅延

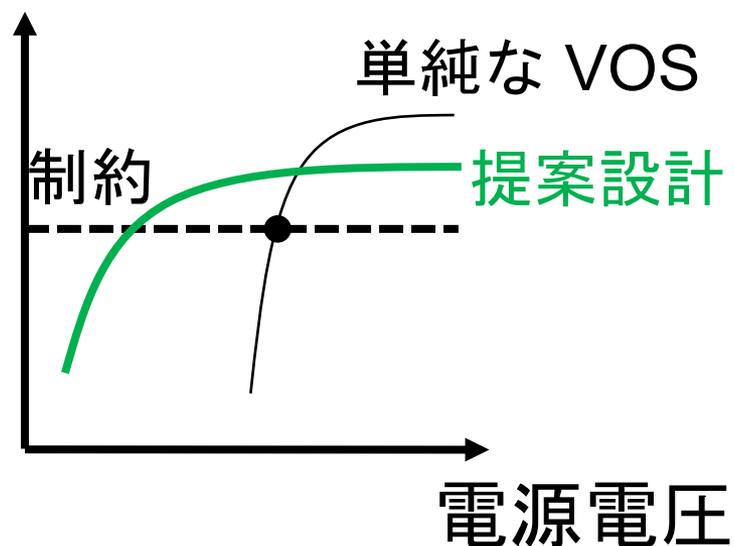
電源電圧

三者を設計変数とする  
組合せ最適化問題を定式化\*

パス数



計算品質



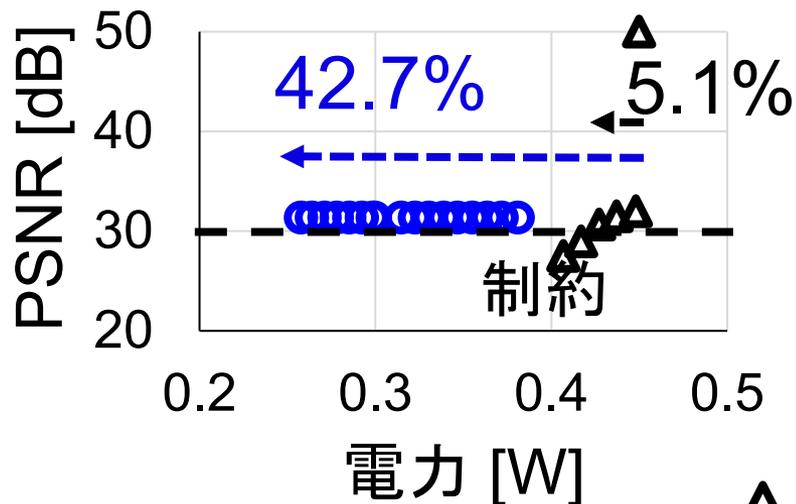
\* 計算品質、面積オーバヘッドの制約を考慮

# 提案設計の低消費電力効果

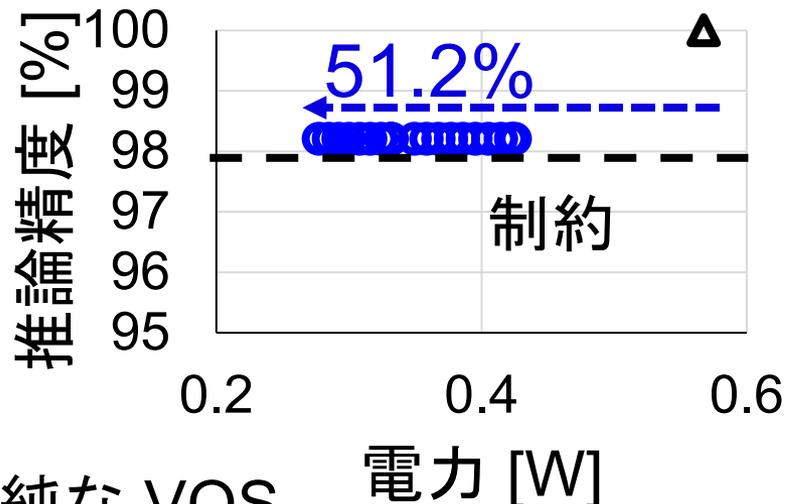
提案設計:

GPGPU プロセッサにおいて、低消費電力効果を向上\*

## Mandelbrot



## Fourclass



▲ 単純な VOS

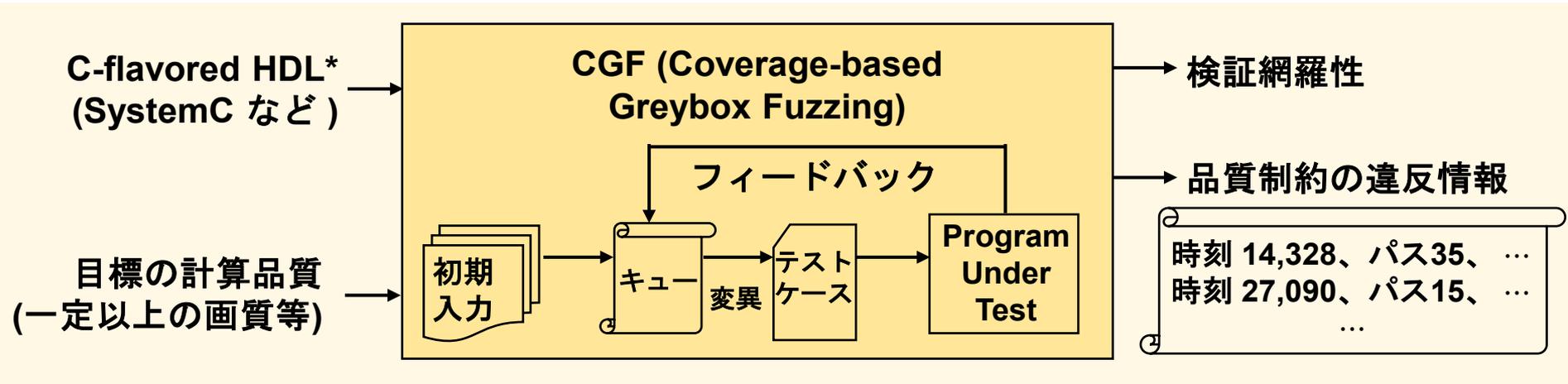
● 提案設計

\* 論理合成と論理シミュレーションに基づき、消費電力を評価

Y. Masuda et al., *IEICE Trans. Fund.*, Mar. 2022.

Y. Masuda et al., *IEEE DATE*, Feb. 2021.

# 2. ファジングに基づく近似計算回路の検証



## 要素技術を集積

- 1. ファジングの HDL への応用法
- 2. AC 回路の機能的検証技術
- 3. AC 回路のタイミング検証技術

## 主要研究課題

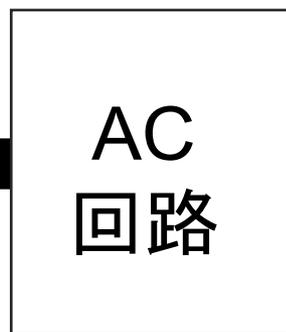
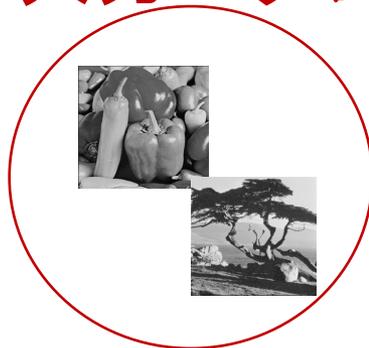
- HDL に適した入力/変異法
- SW – HW 間の実行並列性、及びカバレッジの乖離
- PUT の計算時間 vs 回路規模
  - 大幅な高速化が不可欠
- タイミング特性の考慮法
- 大規模集積回路での技術検証

\* Hardware Description Language

# 近似計算回路の検証\*における課題

AC 回路が、**計算品質の制約**を違反しないか検証

**入力パターン**



出力（計算品質）

全て  
**品質制約**  
達成？

課題1: 計算品質は、**入力パターン**に依存

課題2: 全ての**入力パターン**を試行することは非現実的



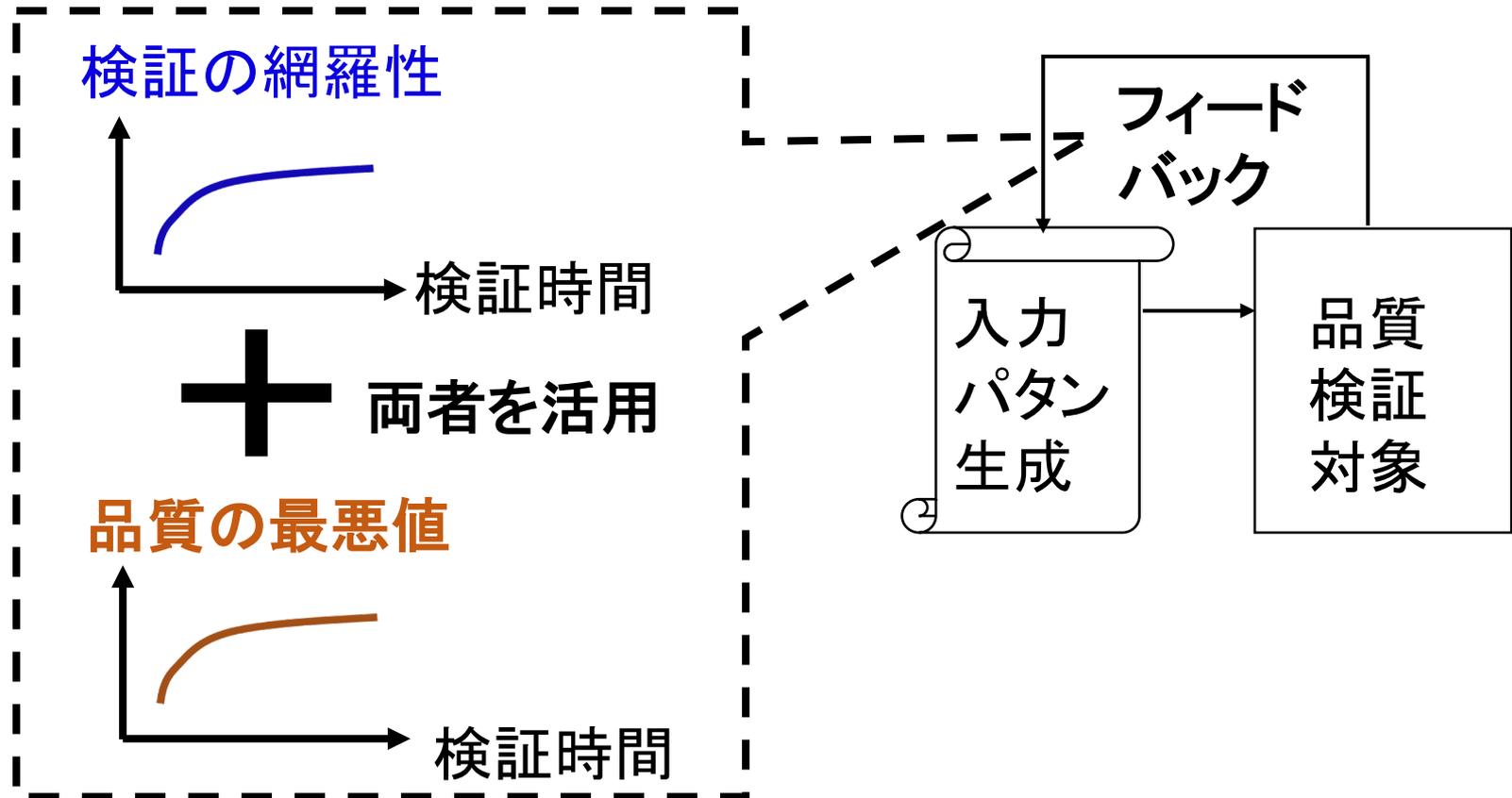
どのような**入力パターン**を検証に用いれば良い？

\* 本研究：動的な検証に着目

# 提案検証手法

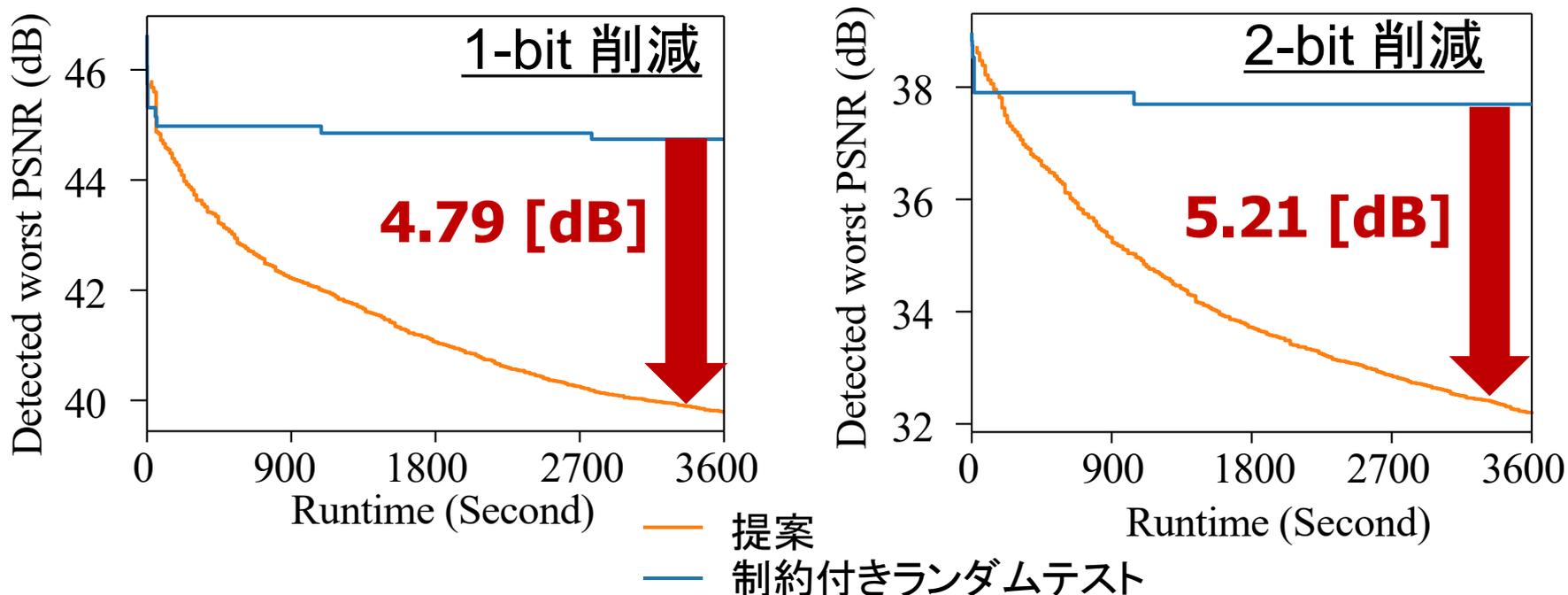
「**検証の網羅性**」と「**品質の最悪値**」を考慮したファジングテスト

- 品質を低下させるパタンは未知 → **網羅探索を活用**
- 入力パタンと品質は有相関(仮定) → **低品質なパタンを  
変異対象に活用**



# 評価結果 (近似 Sobel フィルタ)

- 入力画像のピクセル値に対して、下位ビットを丸め
- **PSNR を低下させる入力画像を探索**
  - ✓ Sobel フィルタの出力画像に対して、PSNR\* を算出



**提案手法：計算品質のより低いパターンを早期検出**

Y. Honda et al., *IEICE Trans. Fund.*, Mar. 2023.

本多 佑成, 増田 豊, 石原 亨, 情報処理学会 ETNET, 2024年3月  
(情報処理学会 山下記念研究賞 受賞内定)

# まとめ

## • AC (Approximate Computing)

✓ 計算に近似を導入し、省電力化/小面積化を推進

## • AC 回路の設計手法

✓ 過電圧スケーリング (VOS) に基づく設計手法

➤ 「機能的近似」と「タイミング最適化」の協調設計

➤ GPGPU プロセッサにおいて、省電力効果を確認

## • AC 回路の検証手法

✓ ファジングに基づく品質検証手法

➤ 「検証の網羅性」と「品質の最悪値」を考慮した探索

➤ 画像処理回路において、画質を低下させるパターンを効率的に発見できることを実験的に確認