九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

演算結果再利用による高信頼かつ低消費電力なプロセッサに関する検討

橋口，陽祐
九州大学大学院システム情報科学研究院

井上，弘士
九州大学大学院システム情報科学研究院

村上，和彰
九州大学大学院システム情報科学研究院

https://hdl.handle.net/2324/9130

出版情報：SLRC プレゼンテーション，2006-06-08. 九州大学システムLSI研究センター
バージョン：
権利関係：

演算結果再利用による高信頼かつ低消費電力なプロセッサに関する検討

九州大学大学院 システム情報科学府
〇橋口 陽祐　井上 弘士　村上 和彰

発表手順

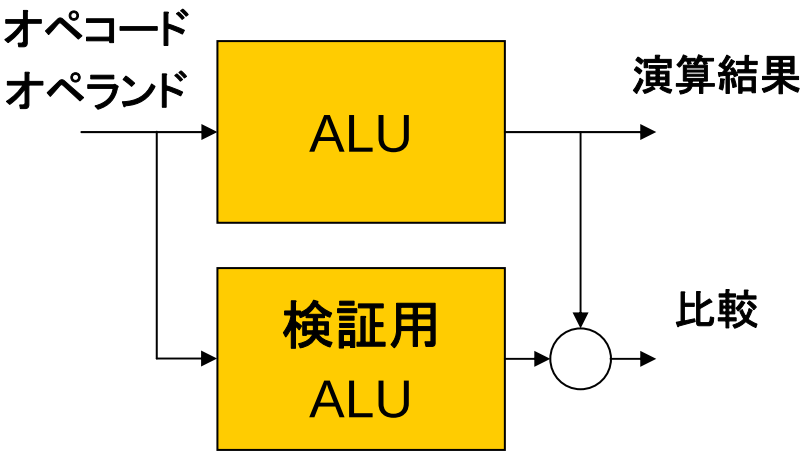
- ソフトエラー
- 従来の高信頼化手法
- 提案手法
- 信頼性の評価
- 消費エネルギーの評価
- まとめ

ソフトエラーによる信頼性の低下

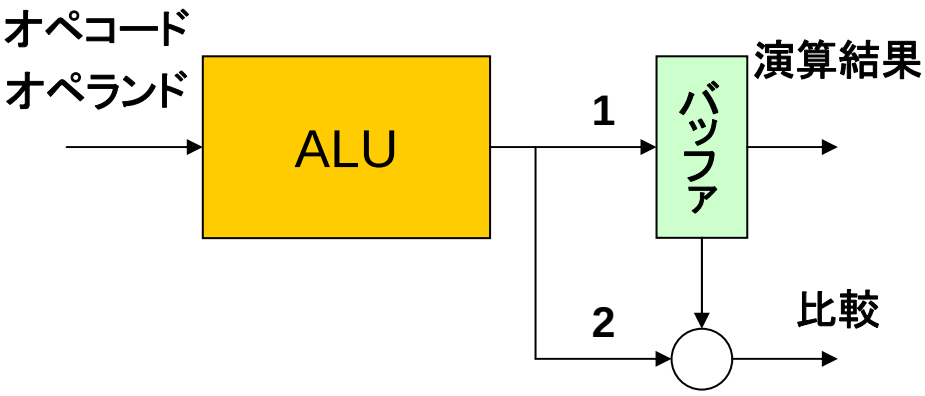
- ソフトエラーとは
  - 宇宙線に起因する中性子が主原因
  - 回路自体に影響なし
- 微細化に伴いソフトエラーへの耐性が低下
  - 低エネルギーの中性子でもビット反転
  - ソフトエラーの増加
  - プロセッサの信頼性低下

従来のプロセッサの高信頼化手法（1/2）

- 空間冗長化
  - 検証用ALUを付加
  - 面積増加
  - 消費エネルギー増加

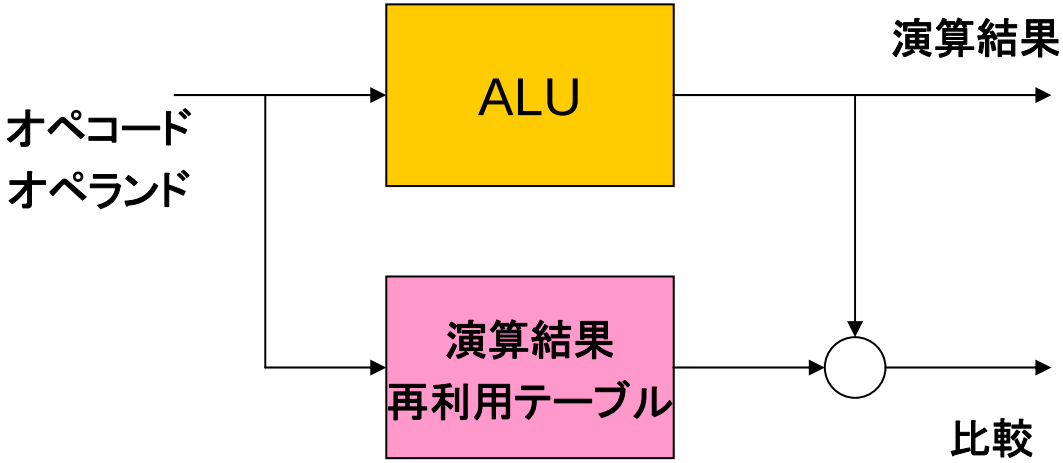


- 時間冗長化
  - 同命令を時間差で実行
  - 性能低下
  - 消費エネルギー増加



プロセッサの高信頼化技術(2/2)

- 演算結果再利用
  - 同一命令実行時
  - 時間冗長化に対する性能オーバーヘッドの削減
  - 消費エネルギーの増加

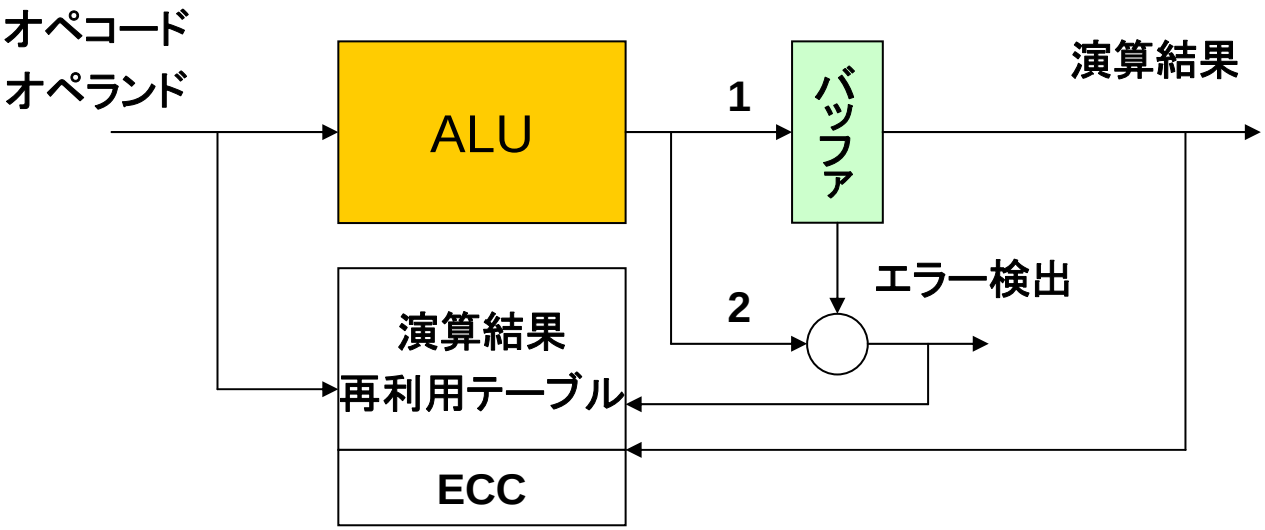


メモリを用いた新しい高信頼化手法

- 高信頼化技術
  - メモリ　　:確立された誤り訂正符号(ECC等)
  - 組合せ回路:冗長化⇒消費エネルギー増大の原因
- 提案手法の基本概念
  - メモリを用いた演算
  - 「正しい」演算結果をメモリに保持
  - ECC等で高い信頼性を維持

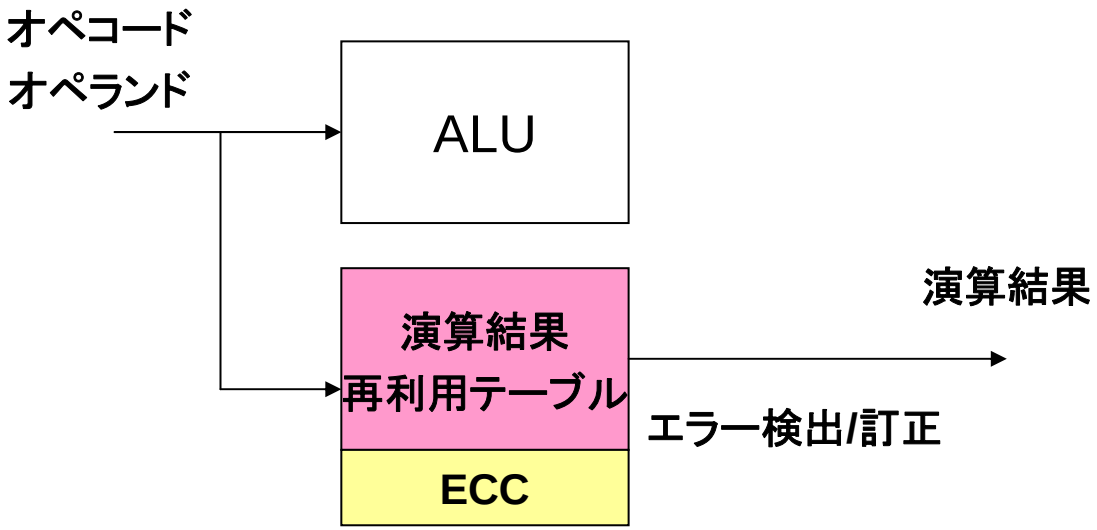
提案手法の動作

- 演算結果の登録
  - 演算器による高信頼な演算
  - 演算結果をテーブルに保持



提案手法の動作

- 演算結果の再利用
  - 演算結果をテーブルから読み出す
  - 信頼性はECCで保障



信頼性に関する評価（前提）

- 中性子におけるソフトエラーに限定
  - 中性子:20個/cm^2/h（ednjapan）
- $F_{ALU} = 1.1 \times 10^4$ FIT
  - Pentium4の演算器面積から算出
  - マスク率を考慮
- $F_{mem} = 2.0 \times 10^4$ FIT（1エントリあたり）
  - SRAM1ビット=1μm^2から算出（intel）

(URL)ednjapan:http://www.ednjapan.com/

(URL)Intel:http://www.intel.co.jp/

信頼性に関する評価

- 各手法のエラー発生回数
  - $F_{冗長化} = 1/32 \times (F_{ALU})^2$
  - $F_{再利用} = (1-r)\ F_{冗長化} + 1/104 \times rF_{ALU}F_{mem}$
    - テーブルのエラー:演算結果に限定
  - $F_{提案} = F_{冗長化} + r(F_{mem})^3$
- F_{ALU}、F_{mem}を代入、各手法を比較
  - $F_{冗長化} = 3.78 \times 10^{-3}$ FIT
  - $F_{再利用} = (3.78 - 1.67r) \times 10^{-3}$ FIT
  - $F_{提案} = F_{冗長化} + 8.0r \times 10^{-6}$ FIT

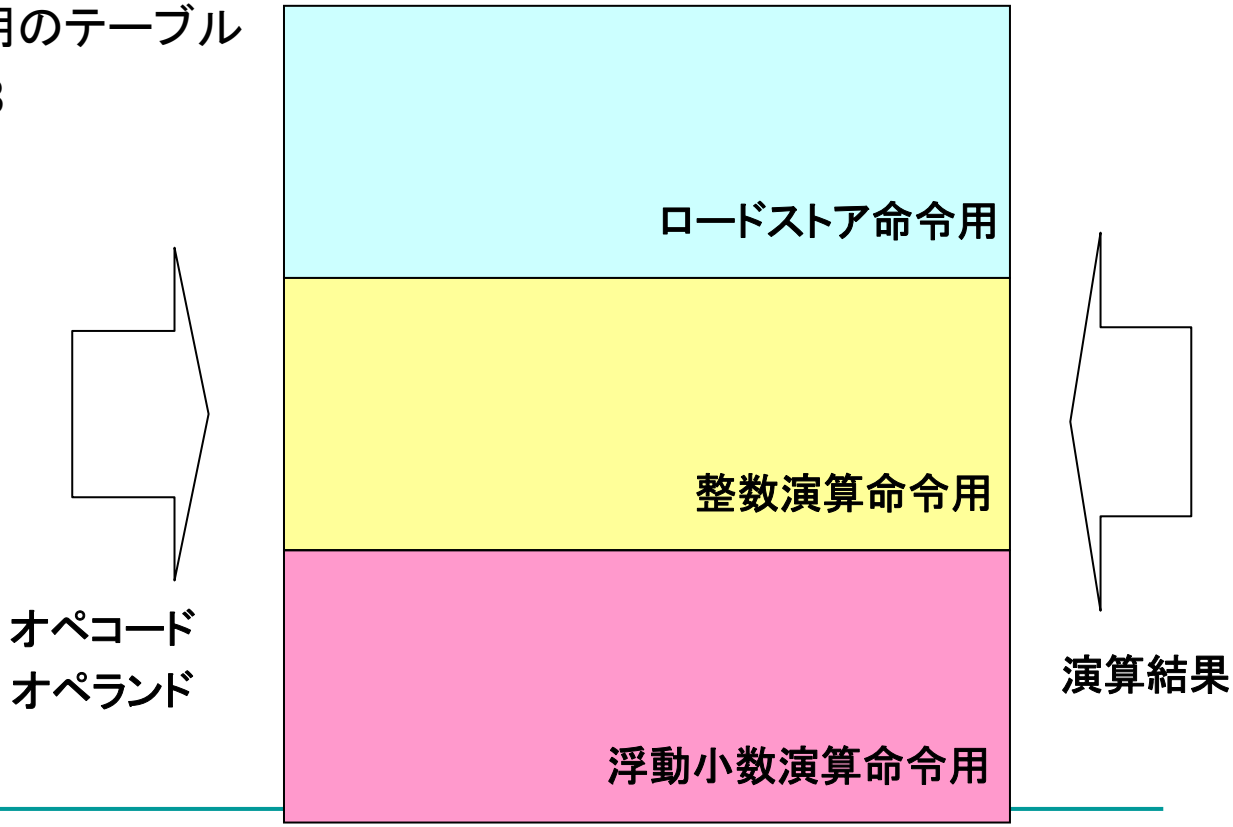
r:演算再利用率

消費エネルギーに関する評価

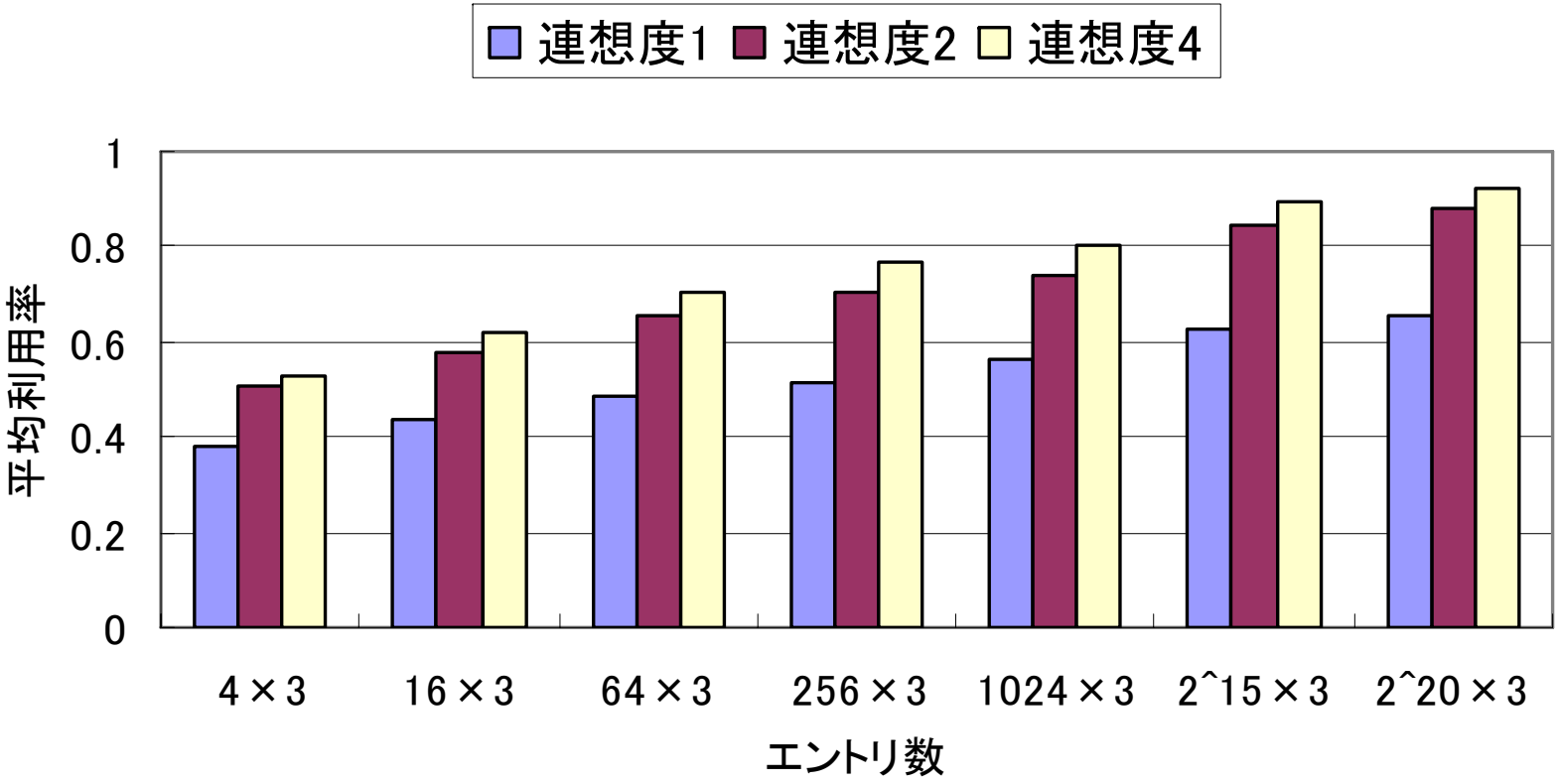
- 演算器、テーブルの消費エネルギーの定義
  - E_{ALU} :演算器による演算1回あたりの消費エネルギー
  - E_{mem}:テーブル利用1回あたりの消費エネルギー
  - r　　:演算結果再利用率
- 各手法の消費エネルギー増加量モデル
  - $E_{冗長化} = E_{ALU}$
  - $E_{再利用} = (1-r)E_{ALU} + E_{mem}$
  - $E_{提案} = (1-2r)E_{ALU} + E_{mem\text{-}ecc}$

テーブルの構成

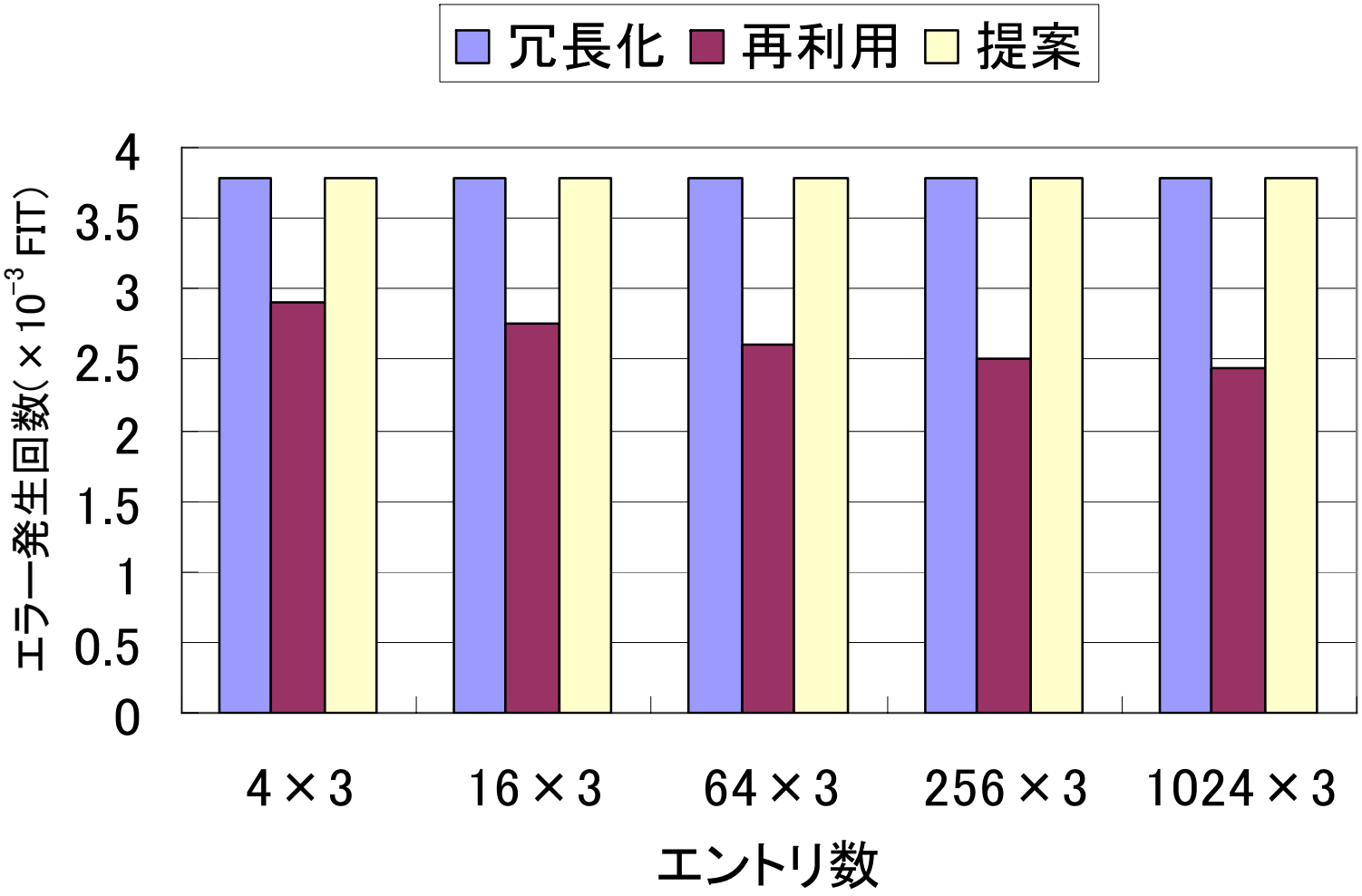
- アドレス生成法:オペランドの加算値
- 参照命令:ロード･ストア命令、整数演算命令、浮動小数演算命令の3種類
- 実装方法:命令毎に専用のテーブル
- エントリ数:4×3~2^{20}×3
- 配置法（連想度）:1,2,4
- 置換法:LRU



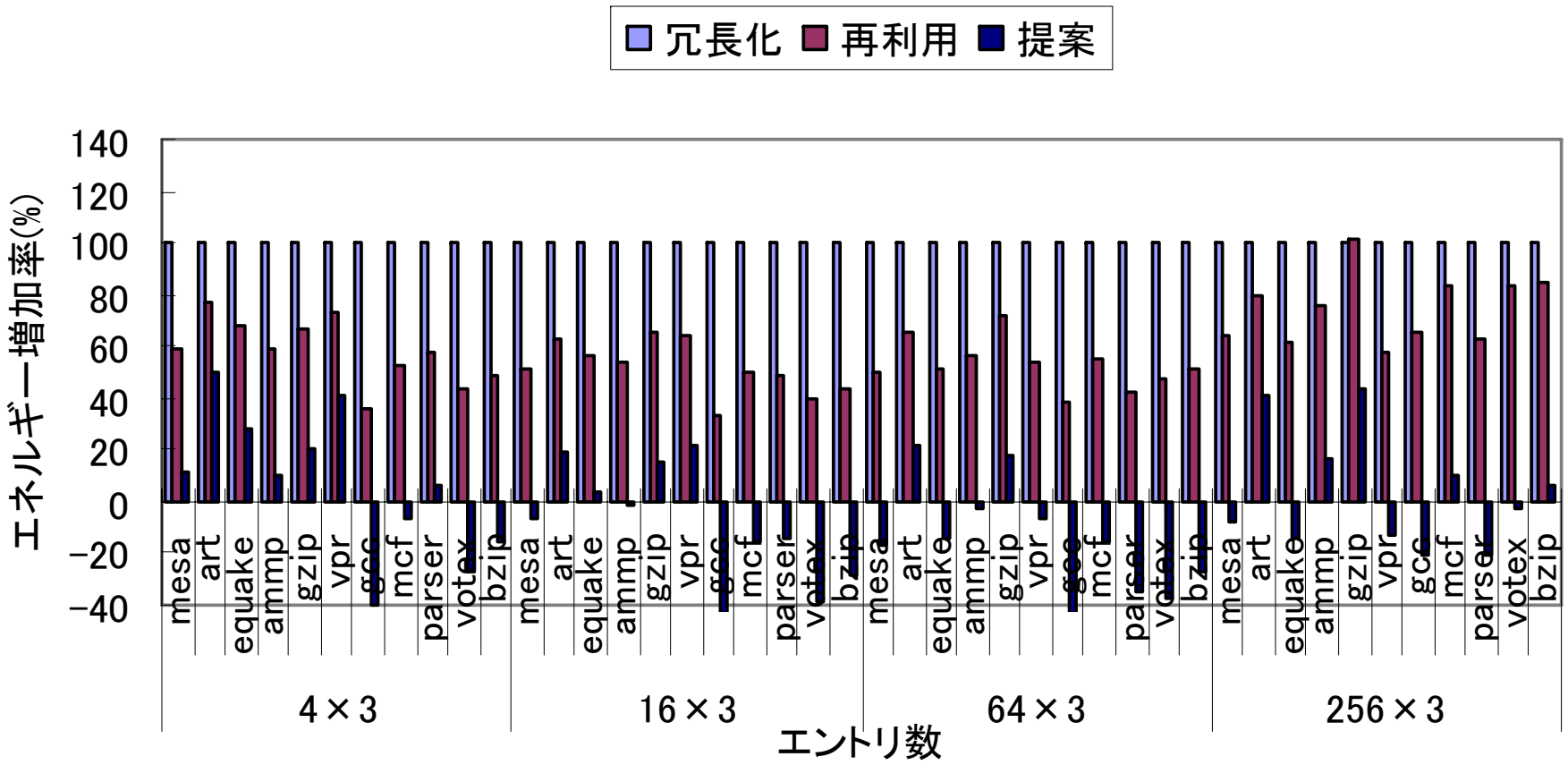
演算結果再利用率


連想度1
連想度2
連想度4
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
平均利用率
4×3
16×3
64×3
256×3
1024×3
2^15×3
2^20×3
エントリ数

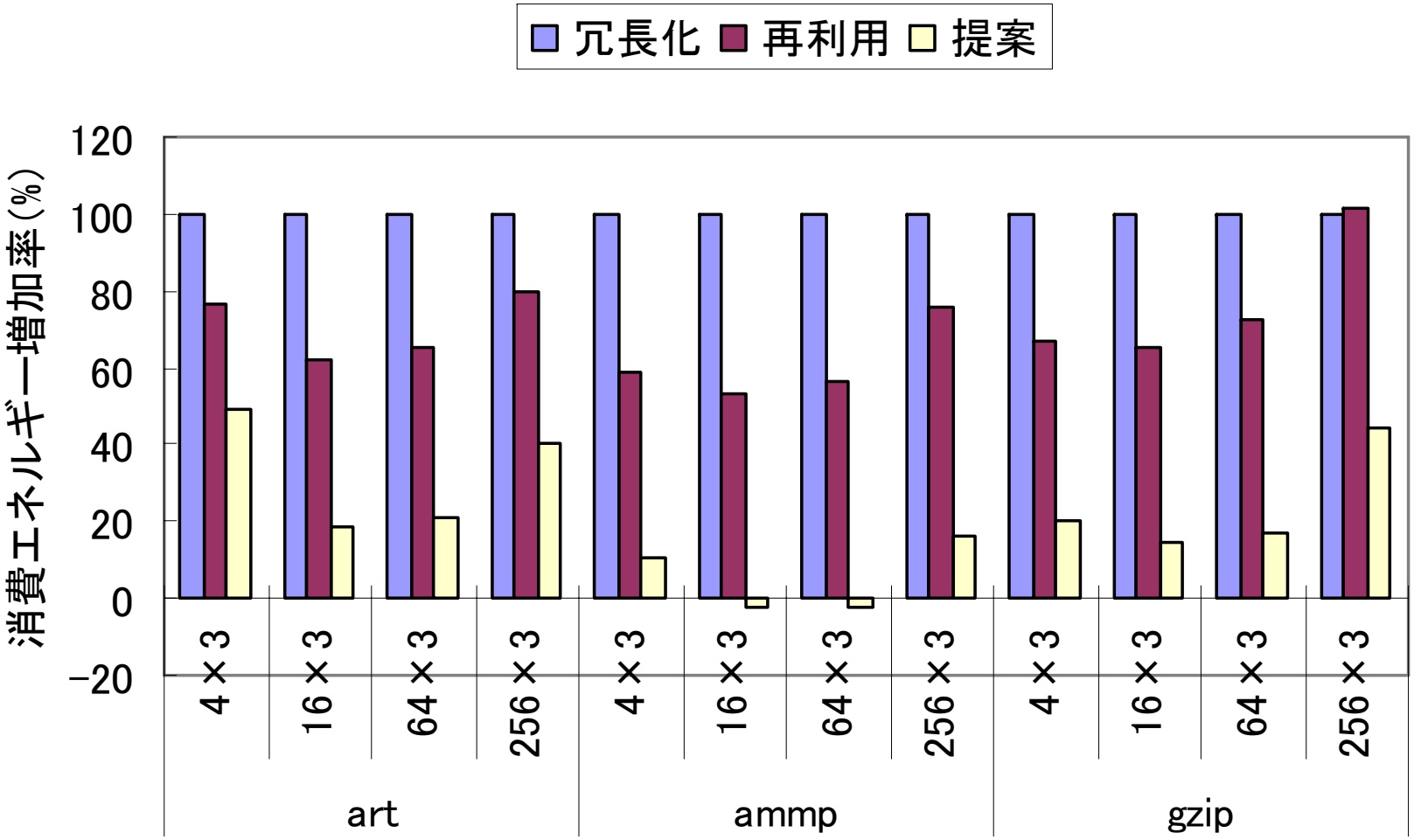
信頼性の評価


冗長化
再利用
提案
エラー発生回数(×10^-3 FIT)
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
4×3
16×3
64×3
256×3
1024×3
エントリ数

消費エネルギーの評価


冗長化
再利用
提案
エネルギー増加率(%)
140
120
100
80
60
40
20
0
−20
−40
mesa
art
equake
ammp
gzip
vpr
gcc
mcf
parser
votex
bzip
4×3
16×3
64×3
256×3
エントリ数

消費エネルギーの評価


冗長化
再利用
提案
消費エネルギー増加率(%)
120
100
80
60
40
20
0
−20
4×3
16×3
64×3
256×3
4×3
16×3
64×3
256×3
4×3
16×3
64×3
256×3
art
ammp
gzip

まとめ

- 高信頼プロセッサにおける低消費エネルギー化手法
  - 演算結果再利用の新たな手法を提案
- 信頼性はテーブルの多ビットエラーの影響小
  - 冗長化と同程度の信頼性
- 消費エネルギー削減効果大
  - 連想度4のとき最小
  - エントリ数48－192で最小
  - ベンチマークによっては減少も
- これから
  - プロセッサ全体についての考察
  - プロセッサの性能オーバーヘッド

ご清聴ありがとうございました