戦略的創造研究推進事業（CREST）

研究領域：ディペンダブルVLSIシステムの基盤技術

研究課題名：自己修復機能を有する3次元VLSIシステムの創製

研究代表者：　東北大学工学研究科バイオロボティクス専攻

小柳　光正

研究実施体制（研究チームの構成）

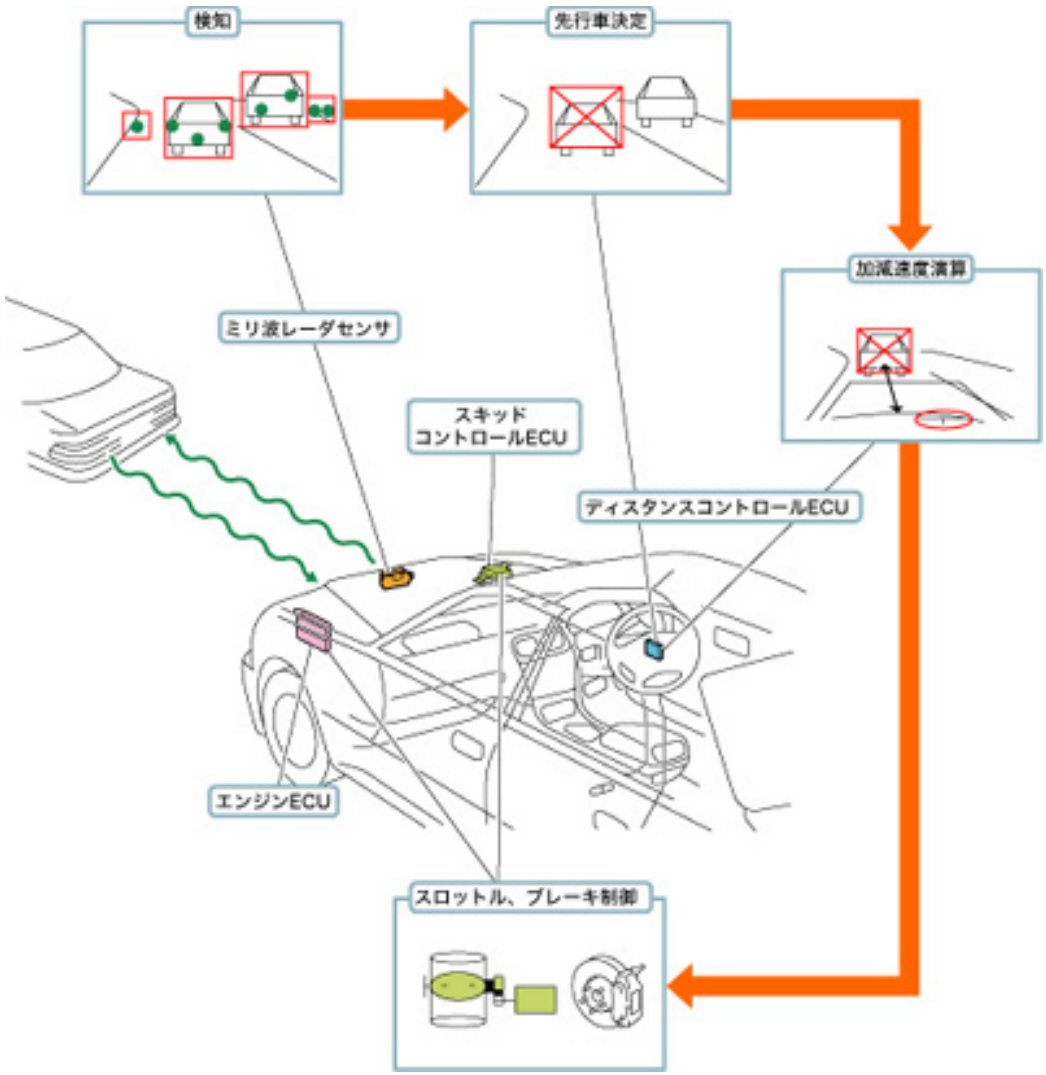
グループ名	研究代表者又は主たる共同研究者氏名	所属機関・部署・役職名	研究題目）
小柳グループ	小柳　光正	東北大学・大学院工学研究科・教授	自己修復機能を有する3次元VLSIシステムの全体設計および性能評価
小林グループ	小林　広明	東北大学・サイバーサイエンスセンター・教授	ハードウェア・ソフトウェア協調型ディペンダブルシステムの開発および性能評価
青木グループ	青木　孝文	東北大学・大学院情報科学研究科・教授	車載用超高精度ステレオビジョンシステムの開発および性能分析
末吉グループ	末吉　敏則	熊本大学・大学院自然科学研究科・教授	3次元リコンフィギャラブルロジックの設計および性能評価
鎌田グループ	鎌田　忠	(株)デンソー・ITS技術3部開発室兼半導体先行開発室・主幹	車載用画像処理システムの概念設計と高頼化技術の検討
元吉グループ	元吉　真	(株)ザイキューブ・取締役社長	自己修復機能を有する3次元LSIテスト回路の試作および評価

本提案で取り上げるアプリケーション

高度化する自動車の運転補助を可能とする画像制御システ

これまでのレーダやセンサを用いた車間制御クルーズシステム、プリクラッシュセーフティシステム、レーンキーピングアシストシステムと高速画像処理・認識機能を複合的に組み合わせた新しい画像制御システムのための基幹技術を開発

高いデペンダビリティが必要



自動車システム全体のディペンダビリティ向上

(1)悪環境条件下でのディペンダビリティの向上

・センサー入力系の多重化によるロバスト性の高い画像認識
・センサー入力系、認識系、表示系を介した人間介在による判断

(2)自動車全体におけるディペンダビリティの向上

・センサー入力系／認識系インターフェイスおよび認識系／制御系インターフェイスの高信頼化
・制御系からセンサー入力系／認識系へのフィードバック機構の導入
・制御系からセンサー入力系／認識系へのフィードバック機構の人間による制御

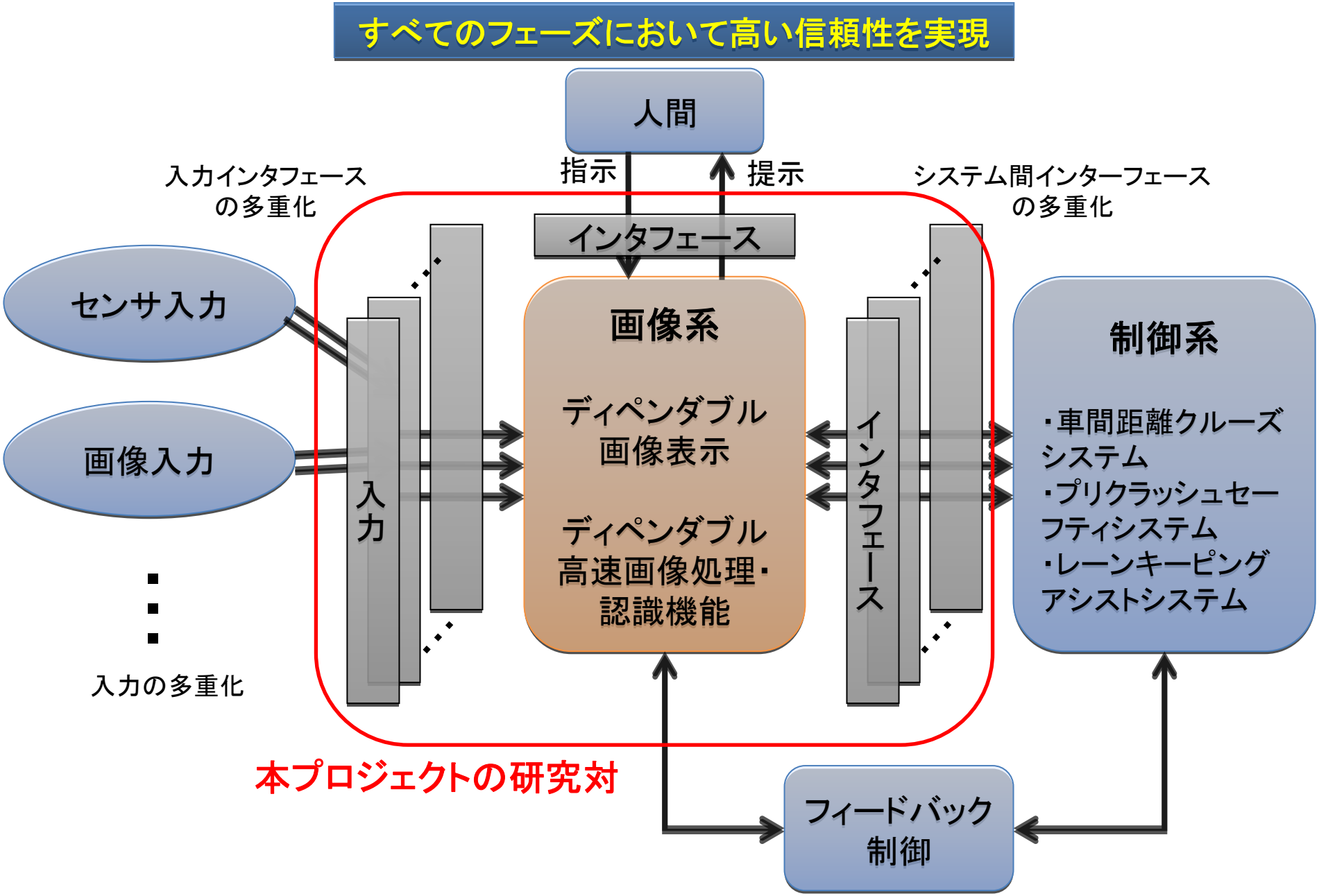
(3)画像系のディペンダビリティの向上

・画像処理、画像認識のディペンダビリティ向上
・ソフトウェアのディペンダビリティ向上
・ハードウェアのディペンダビリティ向上

(4)制御系のディペンダビリティの向上

（既に高い信頼性が確立されているので、本研究プロジェクトでは対象外）

本プロジェクトで対象とする研究領域



研究分担と各グループの役割

画像認識システム	システムソフトウェア	3次元リコンフギュアブルVLSIチップ
鎌田グループ　青木グループ	小林グループ	小柳・末吉・元吉グループ

- 認識アプリケーション　A
- 認識アプリケーション　A
- 認識アプリケーション　B
- 認識アプリケーション　B`
- 認識アプリケーション　B``
- ナビアプリケーション C
- ナビアプリケーション C`
- ナビアプリケーション C``
- HMIアプリケーション　D
- HMIアプリケーション D`
- HMIアプリケーション D``

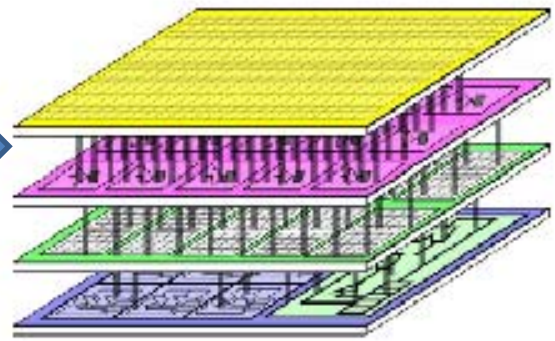
アプリケーションの多重実行

仮想環境生成

VM システム
ディペンダブル実行環境制御

仮想環境の割当

ディペンダブルVLSI



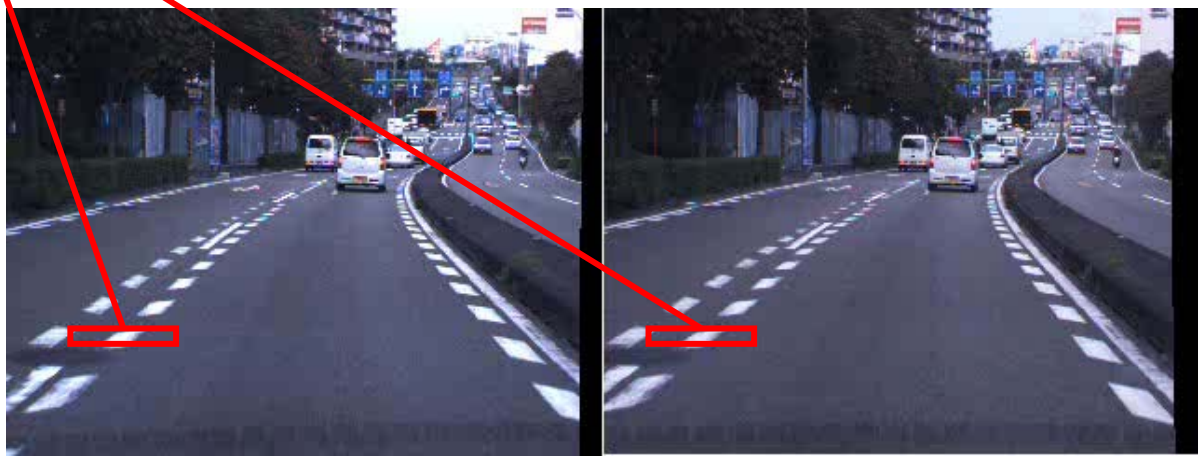
アプリケーション・システムソフトウェア・3次元リコンフィギュラブルVLSIチップの有機的な連携による自動車のための高いディペンダビリティを持つ画像・制御システムの実現

自動車の視覚システムの開発

ドライバー・アシスト技術

短基線長コンパクト
ステレオカメラ
モジュール

位相限定相関法による高精度対応点探索



左カメラ画像　　右カメラ画像

高レベル安全性を達成するための次世代車載用超高精度ステレオビジョン

車両前方50m地点での計測精度

- X軸（水平）・Y軸（垂直）空間分解能 ≦ 5cm
- Z軸（奥行）空間分解能 ≦ 50cm
- X軸（水平）・Y軸（垂直）速度分解能 ≦ 10km/h

これを実現するためのシステム仕様

- 画像サイズ = SXGA（1280x1024画素）, 60fps
- 基線長 = 20cm, 焦点距離 = 6.5mm
- ステレオ画像対応付け精度 = 0.05画素
- ステレオ画像対応付け点数 = 40万点
- 高信頼化のための冗長度 = 2重化冗長

車載用画像処理・認識システムの概念設計

高信頼性システム実現へ向けての性能改善

2重化されたカメラシステム

安全性確保から来る要求は4重化
→2倍の画像処理能力が必要となる。

VGAカメラの水平方向解像度：640dot
→約30mの画角を設定すると 1dot=5cm

安全性確保から来る要求は1dot=1cm
そのためには3200×2000dotsの解像度必要
→25倍の画像処理能力が必要となる。

60fpsで撮影すると 1dotの動き=100Km/h

0.2秒以下（約10フレーム）で判定すると 1LSB =10Km/h

安全性確保から来る要求は1Km/h
そのためには600fpsのフレームレート必要
→10倍の画像処理能力が必要となる。

高信頼性システム実現のためには250倍の処理能力の改善が必要（12.5TIPS，0.4μW/MIPS）

→3次元LSIの採用必須

信頼度の目標

システム全体で70000FIT以下

（10年間、毎日4時間使用で、1回故障）

$10^9/(10\times365\times4)/1$=約70000FIT

3次元LSIに対する要求FIT値

・構成サブシステム部品に均等に要求を割り振ると、10000FIT／サブシステム
サブシステム：レンズ系・カメラ部分・画像ハーネス・処理ユニット・
表示ユニット・バッテリー・電源ハーネス

・サブシステムは5つのサブユニットから構成→ 2000FIT／サブユニット
サブユニット：電源回路・入力回路・LSI・出力回路・コネクタ

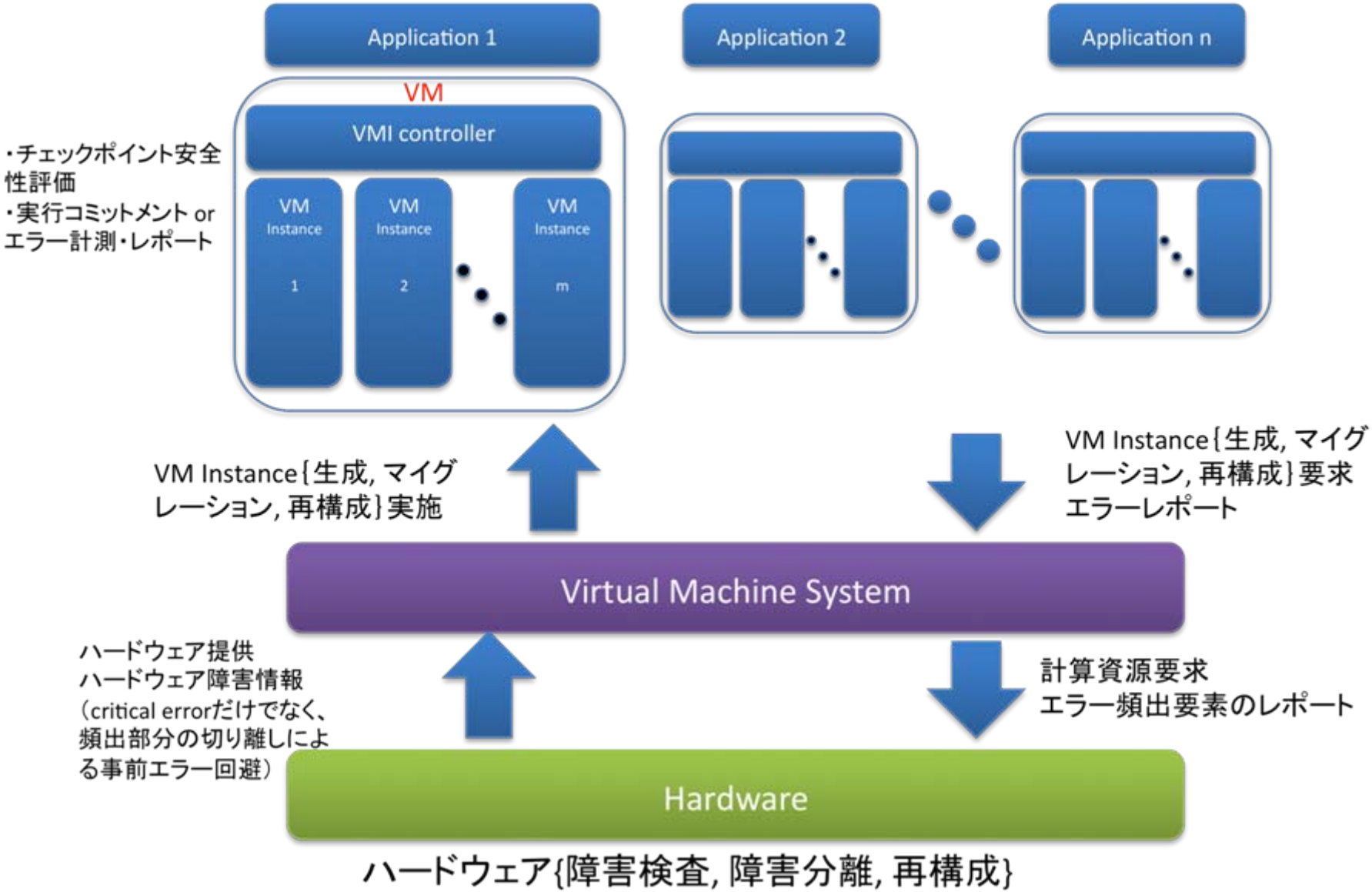
・3次元LSIは非常に集積度が高いため、一つのサブユニットと同等の信頼度が要求されると考えると2000FITの信頼度が必要
（2次元LSIの約1.5倍高い信頼度）
$10^9/(10\times365\times4)/(7\times5)$=2000FIT

ディペンダビリティを高める基本機能

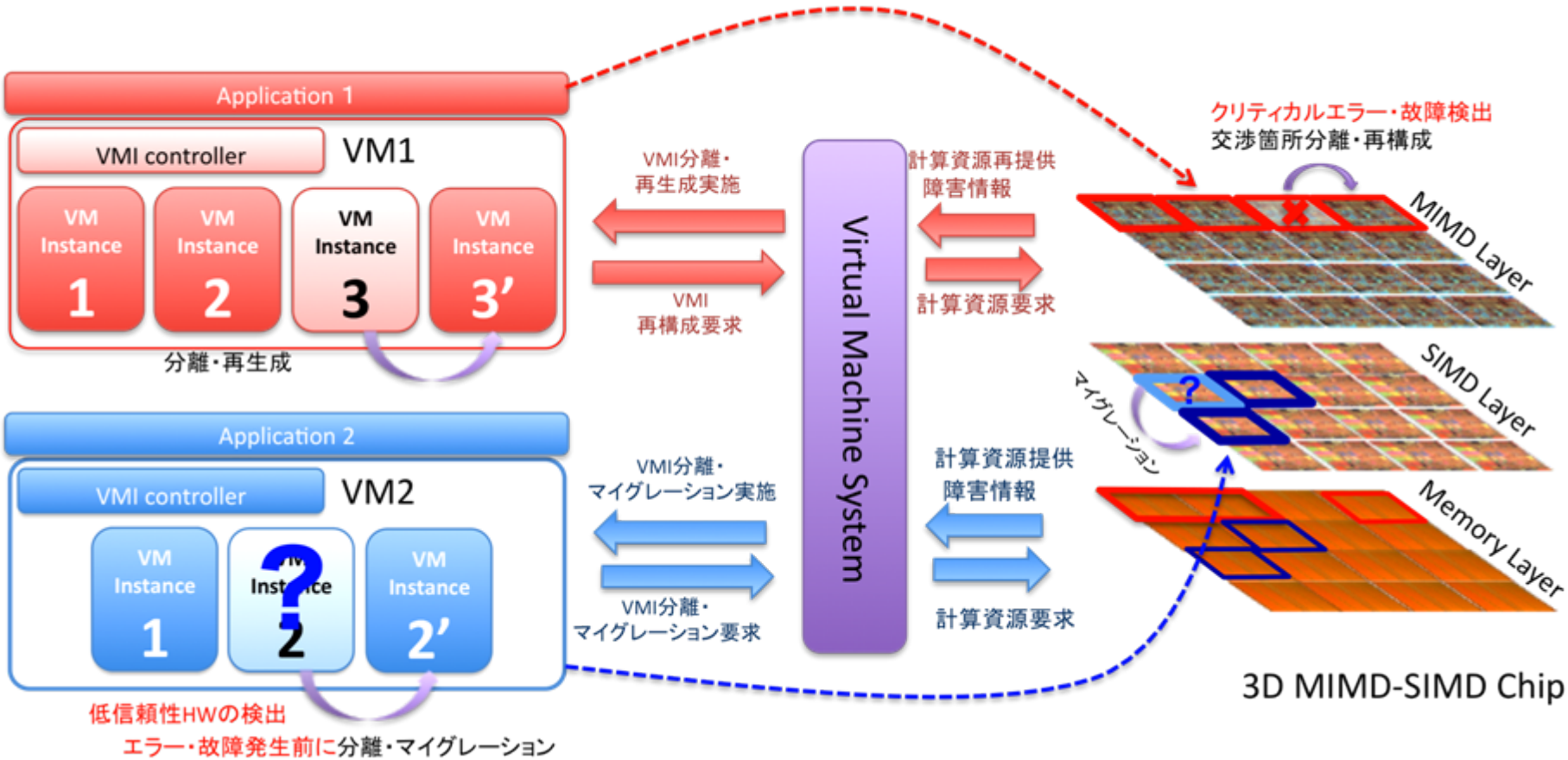
- ソフトウェア
  - システム監視によるエラー・不正検出（モデル）
    - 多重・冗長実行
  - エラーリカバリ・ノンストップシステム制御
    - 多数決処理
    - ハードウェア再構成制御
  - 仮想化技術
    - 実行環境とハードウェア資源の分離

- ハードウェア
  - 冗長・代替ハードウェア
  - ハードウェア再構成機能
  - ハードウェアモニタ・エラーログ機構
  - メモリの共有化／多重化と再構成メモリ

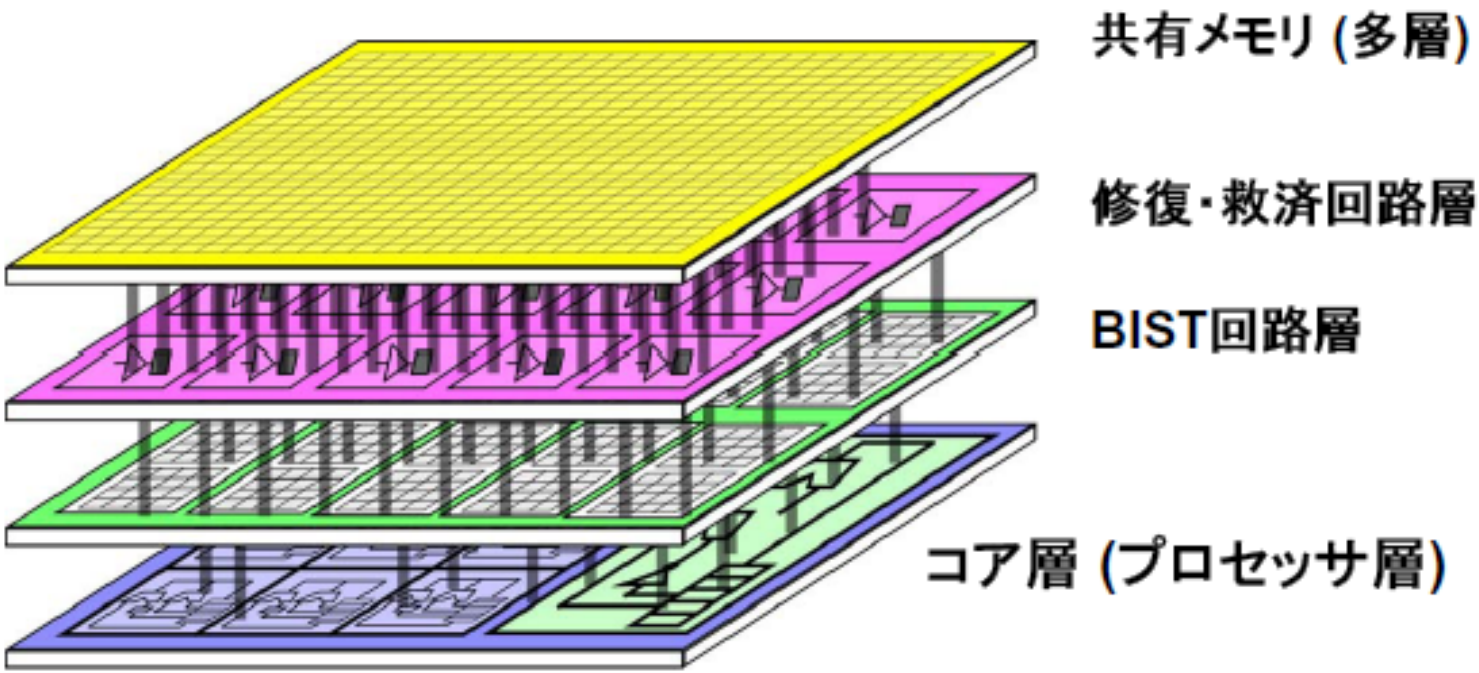
ディペンダブルVMシステムアーキテクチャ

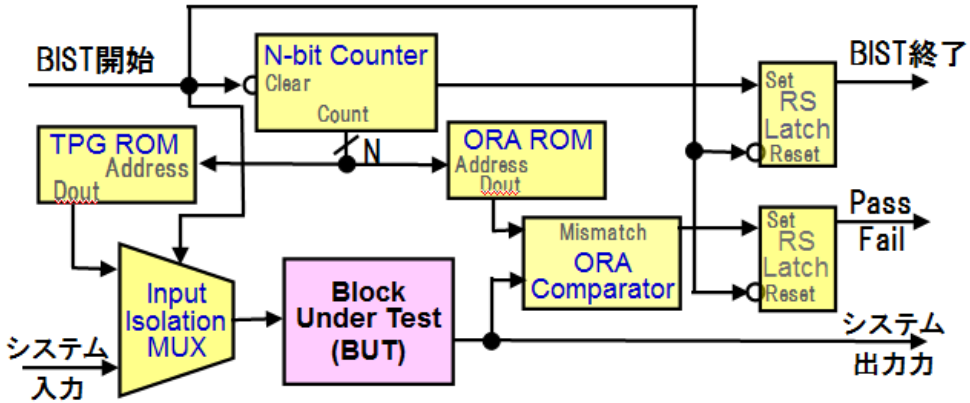


VM instanceの分離・再生成・マイグレーション



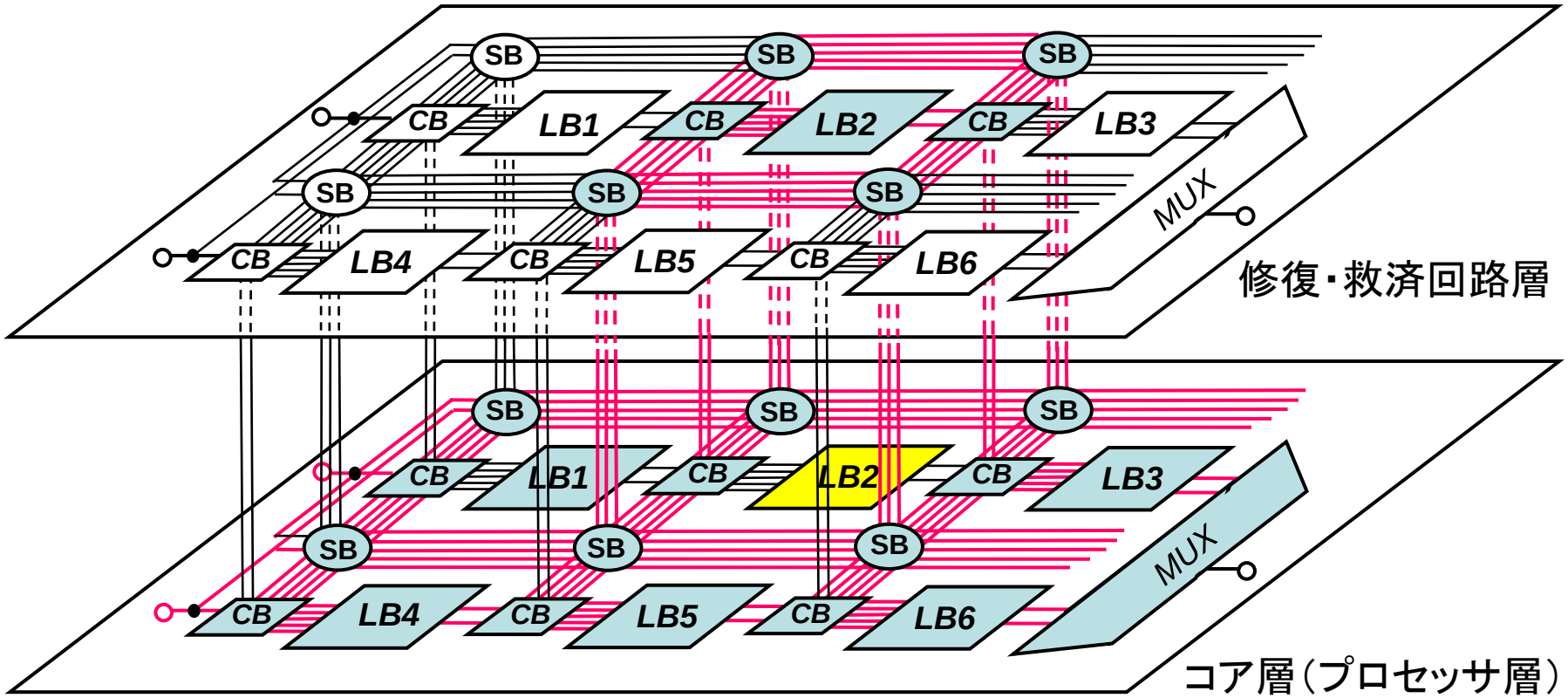
自己修復機能を有する3次元VLSIの構成（概念図）



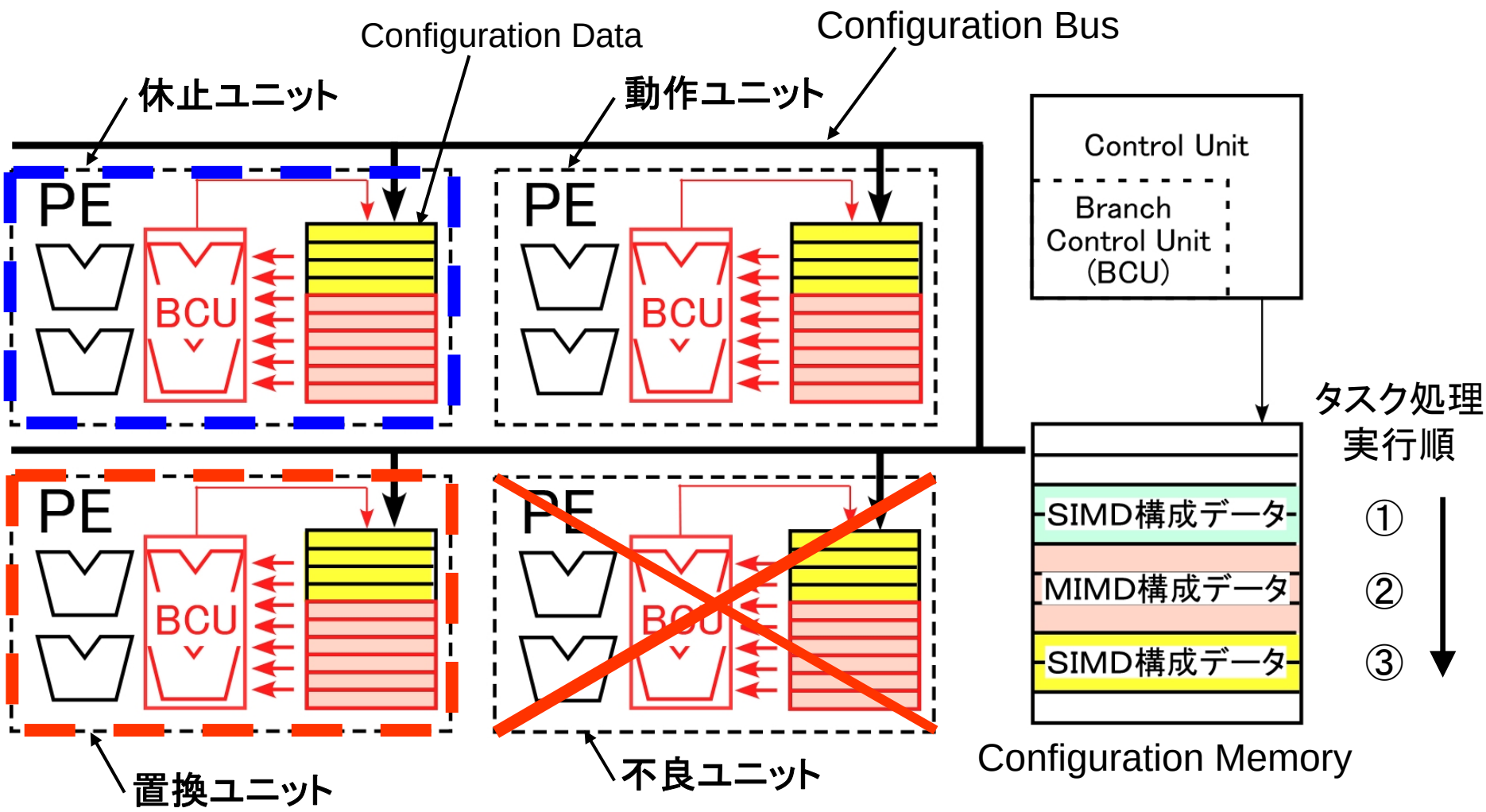


BIST回路

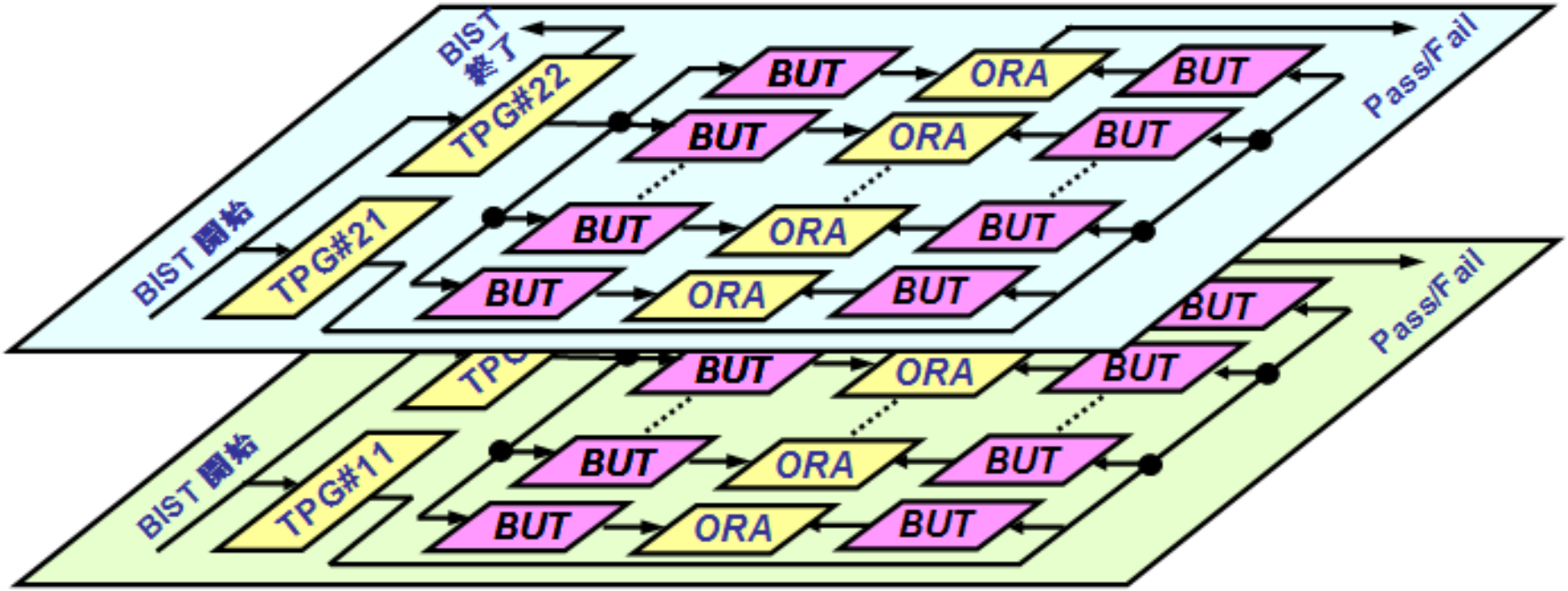
リコンフィギュラブル回路による修復・救済（細粒度）



リコンフィギュラブル回路による修復・救済（粗粒度）



BISTを用いた3次元リコンフィギュラブルVLSIのテスト手法



Row of TPGs
Row of BUTs
Row of ORAs
Row of BUTs
Row of ORAs
Row of BUTs
Row of ORAs
Row of BUTs

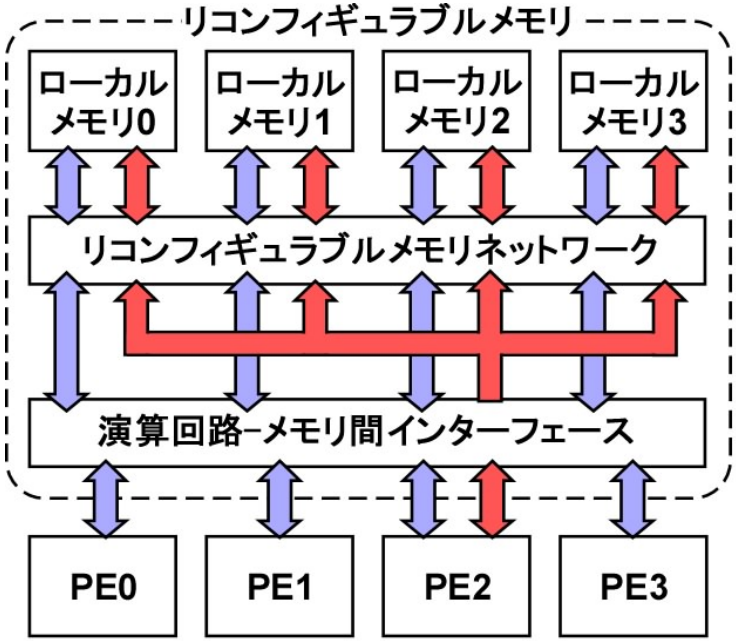
Test Session #1

Row of BUTs
Row of ORAs
Row of BUTs
Row of ORAs
Row of BUTs
Row of ORAs
Row of BUTs
Row of TPGs

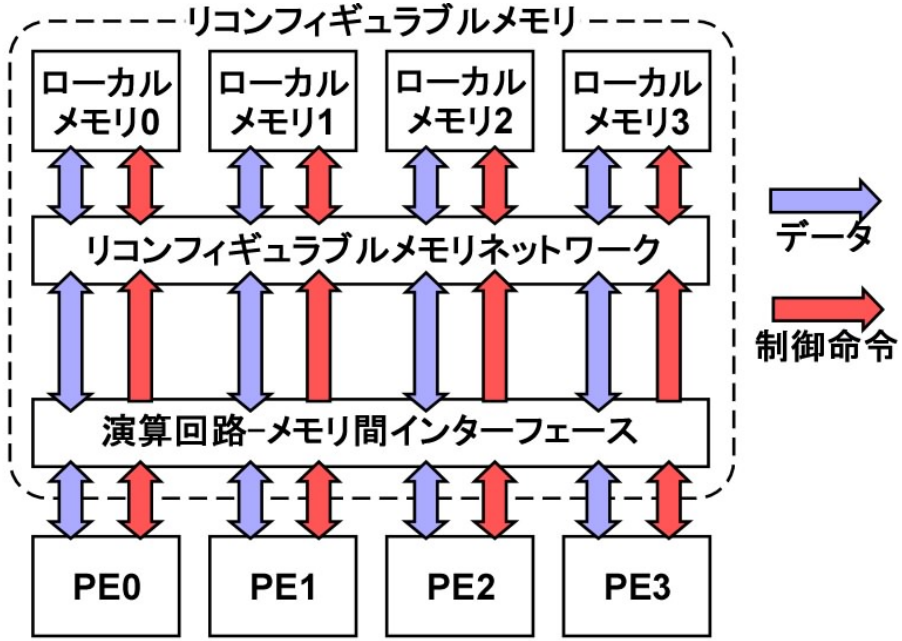
Test Session #2

テストセッション

リコンフィギュラブルプロセッサとメモリ間の高速データ転送



同一制御による並列データ転送

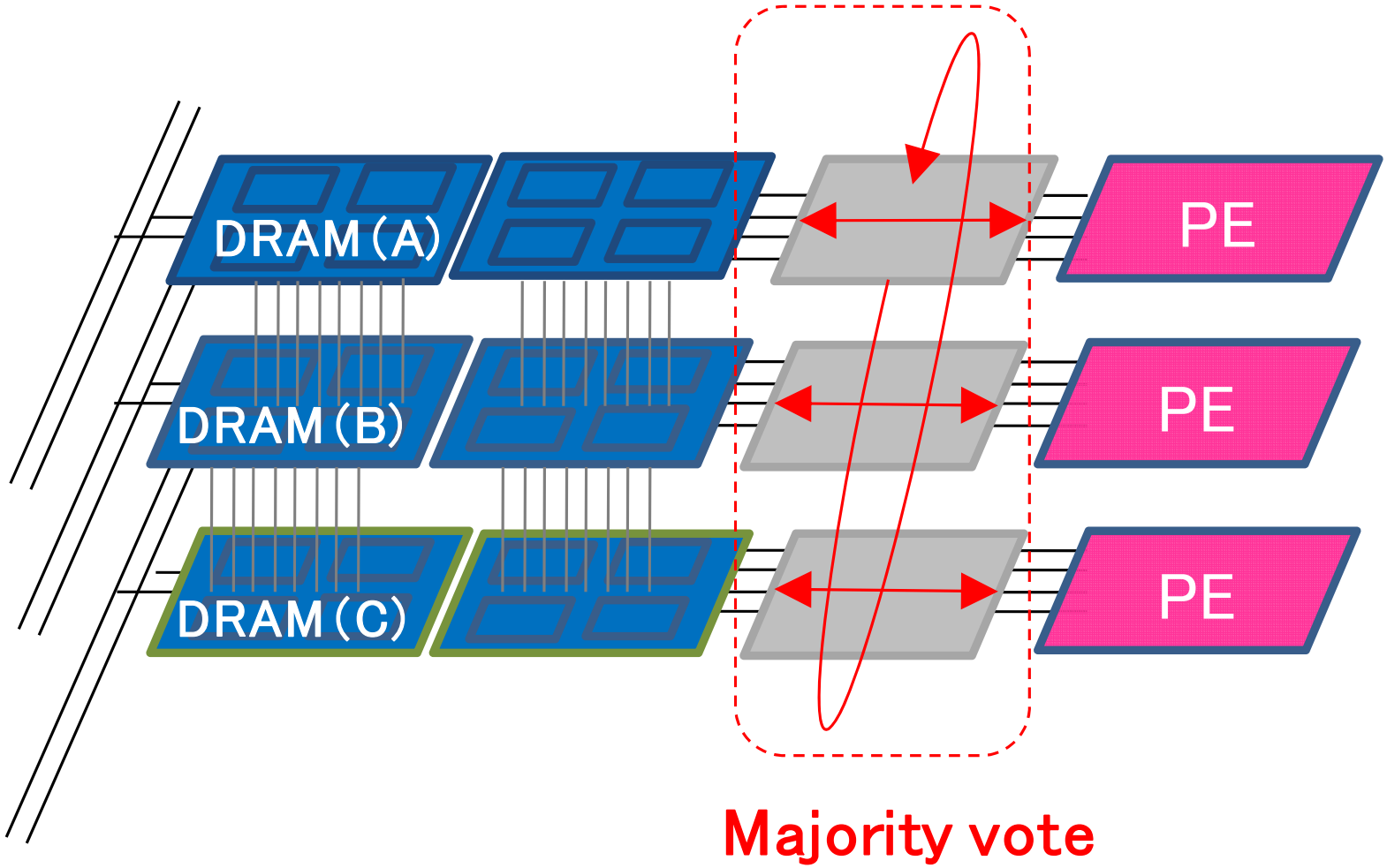


個別制御による並列データ転送

データ帯域幅の割り当て制御

データ転送命令毎に、演算回路－メモリ間のデータ帯域幅の割り当てを変更し、データ転送を実行

シミュレーションに用いた修復救済機能付 ３次元積層型共有メモリの構成



TMR（Triple Modular Redundancy）

3.5年後の達成目標（全体システム）

・自己修復機能を有するリコンフィギュラブルプロセッサ搭載デペンダブルシステムをFPGAで実現

・アプリケーションの動作確認

（HOG+線形SVMアルゴリズムによる歩行者検出等）

HOG: Histograms of Oriented Gradients
SVM: Suppoet Vector Machine

・システム全体で70000FIT以下の信頼度見通し達成

（10年間、毎日4時間使用で、1回故障）

109/(10×365×4)/1=約70000FIT

3次元LSIの信頼度2000FIT以下