



小林研究室の研究説明



小林教授
デジタル電子回
路, 集積回路工学
担当



古田准教授@岡山
県立大学
2024/4/1に異動

研究協力者

テーマ一覧

- 集積回路の一時故障

- ソフトエラーを評価するためのデバイスシミュレーション環境の構築
- 耐ソフトエラー回路の設計と実測評価

- 集積回路の長期信頼性

- 集積回路の経年劣化を測定する回路の設計と実測評

- 量子コンピュータ

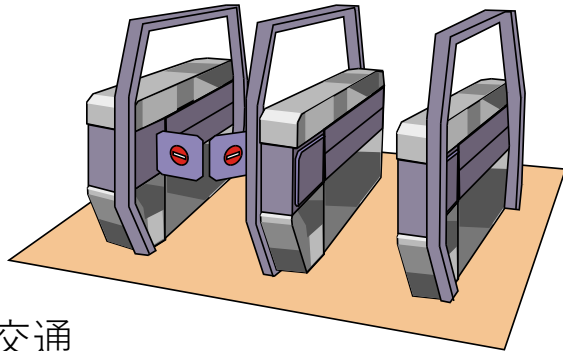
- 量子コンピュータを制御・エラー訂正するための集積回路

- (ワイドギャップ半導体向け電力変換回路)



信頼性の低下が引き起こす問題

- 日常生活は、LSIを使った電子機器に大きく依存



交通



- いったんトラブルが起こると、大きな影響が



<https://mainichi.jp/articles/20160322/k00/00e/040/131000c>



4.8万人に影響．ネットワークSWのLSIが故障原因

2016年3月 ANA 予約システムダウン

宇宙線の影響で30億円の特損計上、横河電の4～6月期

2019/8/6 20:30

保存 共有 印刷 他

降り注ぐ宇宙線が業績にも影響——。横河電機は6日発表した2019年4～6月期の連結決算で、宇宙線中性子が原因とみられる半導体部品の不具合に関する対策強化費用として30億円を特別損失に計上した。同社が顧客企業に販売するシステム制御機器に組み込む半導体部品が微細になったことで、宇宙線中性子の影響による不具合が生じるケースがあるという。

不具合は「ソフトウェア」と呼ばれる一過性の異常で、半導体に記憶されたデータが乱れて誤作動を起こすことがある。データを書き換えると正常な動作に戻る。横河電は顧客企業のソフトウェア対策などに関する費用を4～6月期に引き当て、純利益は前年同期比38%減の21億円となった。

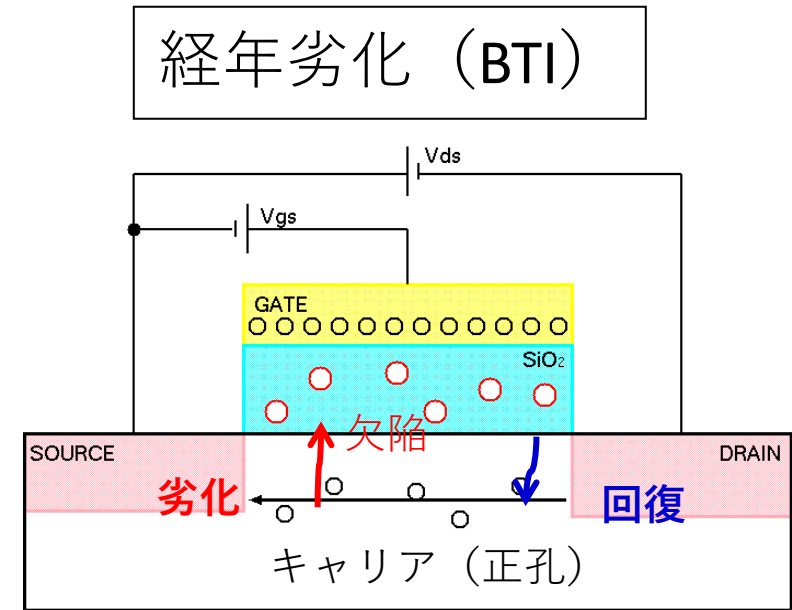
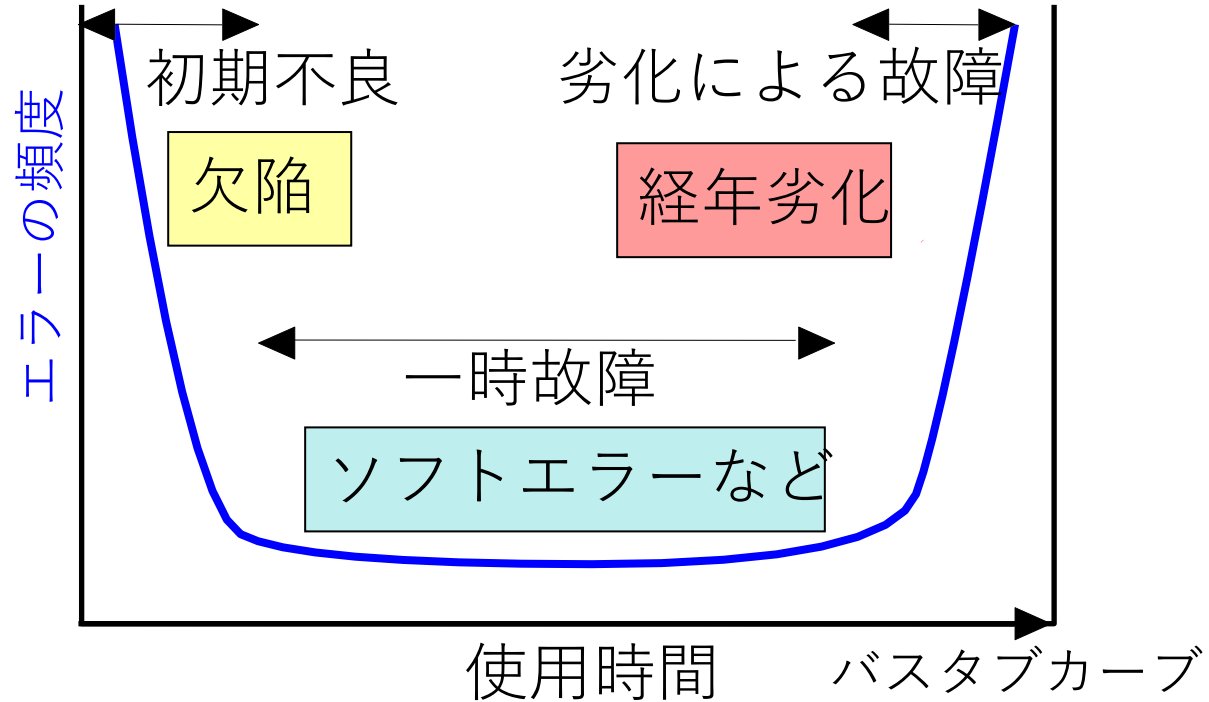
売上高は1%増の902億円、営業利益は37%増の65億円だった。中東などの顧客企業の設備投資が旺盛で、主力のプラント関連の制御機器が好調だった。

20年3月期通期の業績見通しは据え置いた。売上高は前期比4%増の4200億円、純利益は2%増の290億円を見込む。米中貿易摩擦については「現時点で受注に影響は出ていない」（同社）としている。

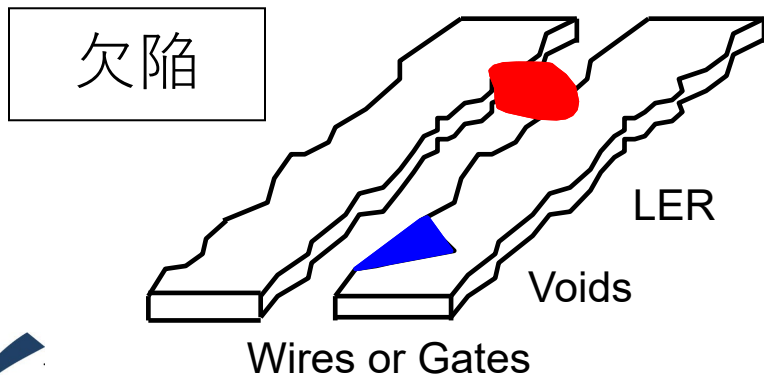
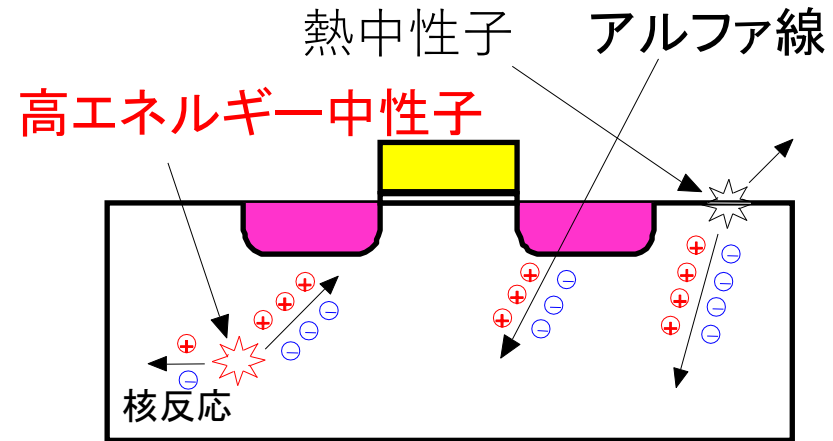
2019年8月横河電機特損

日経新聞電子版記事より

微細化による信頼性の低下

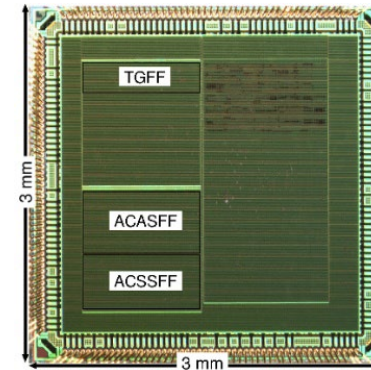


ソフトエラー

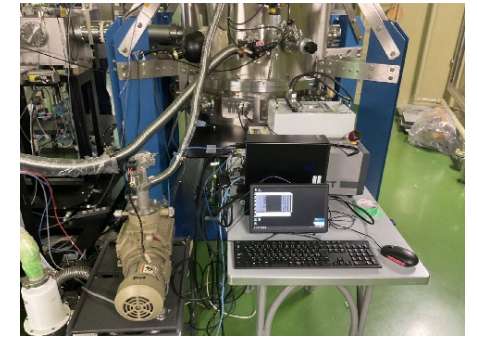


LSIの信頼性に関するテーマ

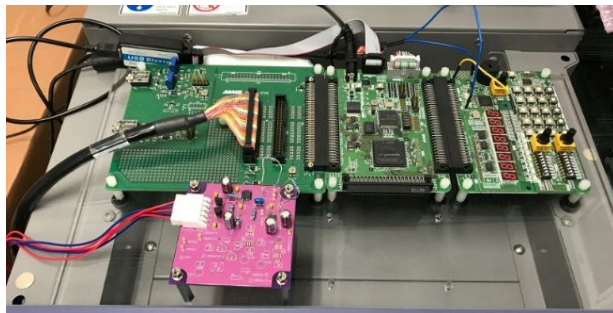
- 集積回路の一時故障（ソフトエラー）
 - エラーを起こしにくい回路構造の提案
 - 阪大, 東海村(J-PARC), QST, 東北大(CYRIC), 群馬大学医学部などで照射実験
- 集積回路の長期信頼性(BTI, RTN)
 - 温度と電圧による劣化現象を計測しモデル化



65nm 試作LSI



QSTでの重イオン実験



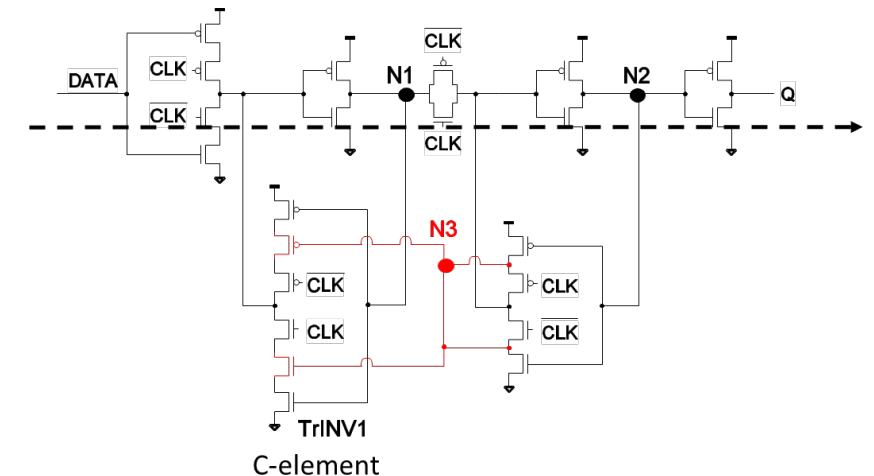
マイコンとFPGAを使った
微細LSIの長期信頼性測定系



Keysight 34405A (Temp. meter)

FPGA/MCU board

Keysight E3640A for
VDD



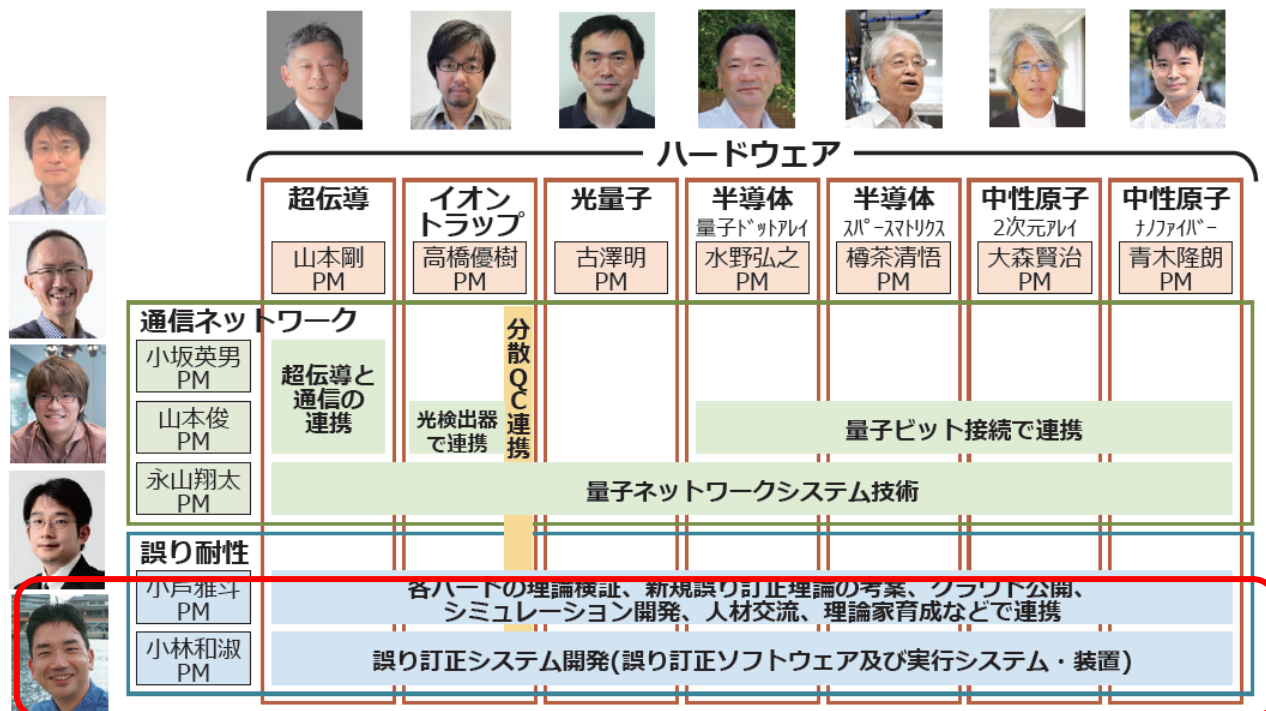
耐ソフトエラーフリップフロップ

量子コンピュータ



- 小林教授が ムーンショット目標6「2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現」のプロジェクトマネージャ(研究代表者)(2022/8より)
- 高井先生, 新谷先生, 岸田先生(本学出身)も課題推進者

課題推進者一覧



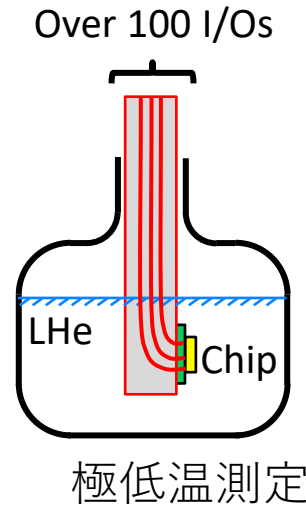
量子ビット制御, 計算機アーキテクチャ, 集積回路の
専門家で構成

極低温環境での超伝導量子ビット制御回路の設計

- FPGAに実装されている回路の一部をLSIに実装して、極低温で測定



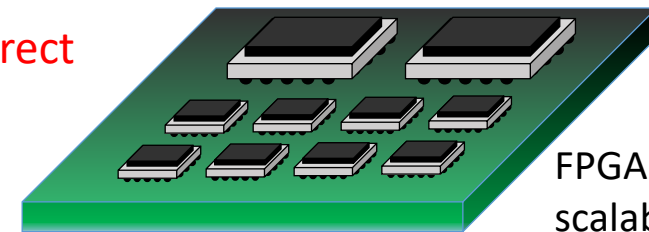
QuEra社の量子コンピュータ制御器



Backend to correct errors

室温

Frontend qubit controller



Scalable Network

FPGA and SoCs for scalability up to 1M Qubit

Small and low power by SoC

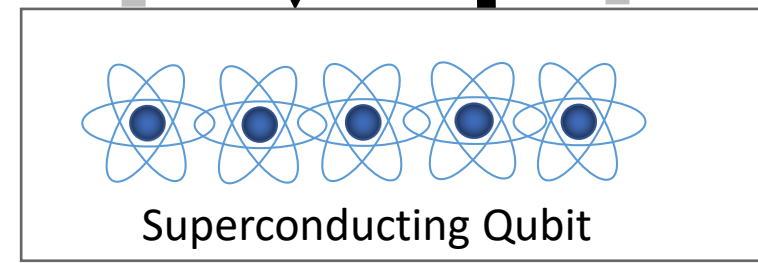
(70K)

To reduce # of wires

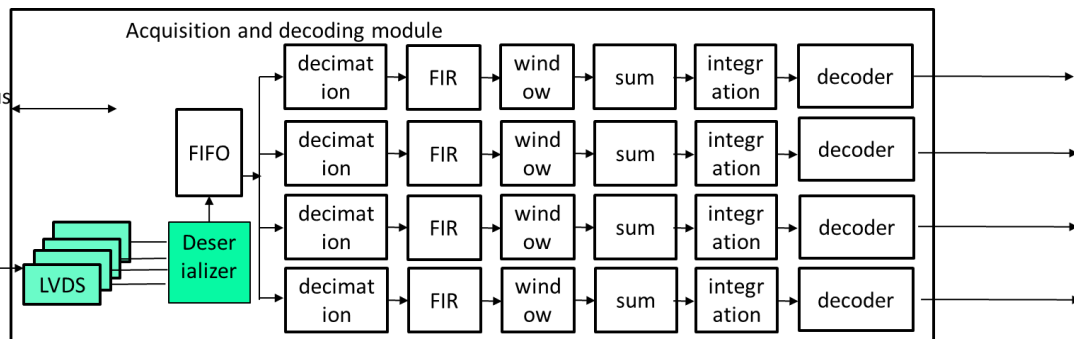
3-4K

Optical and Cryo CMOS IC

0.8K



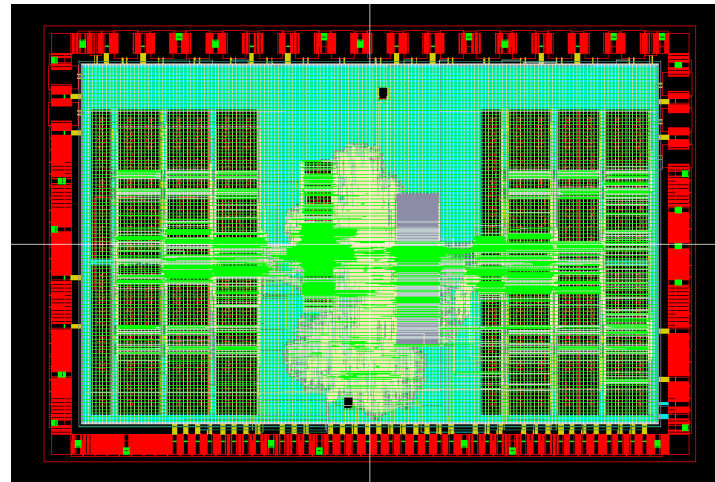
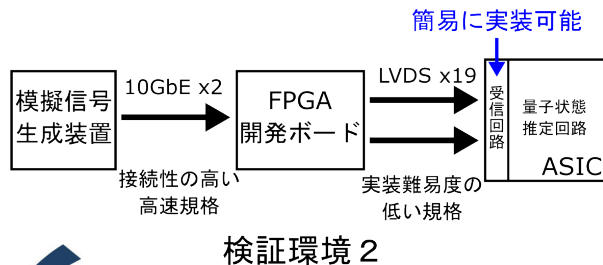
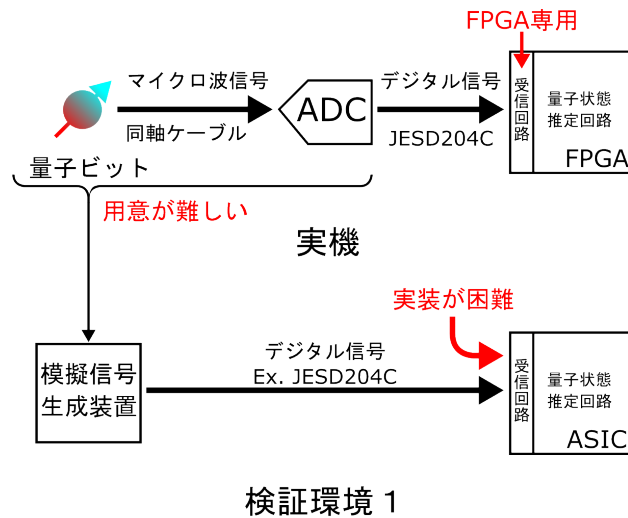
10mK



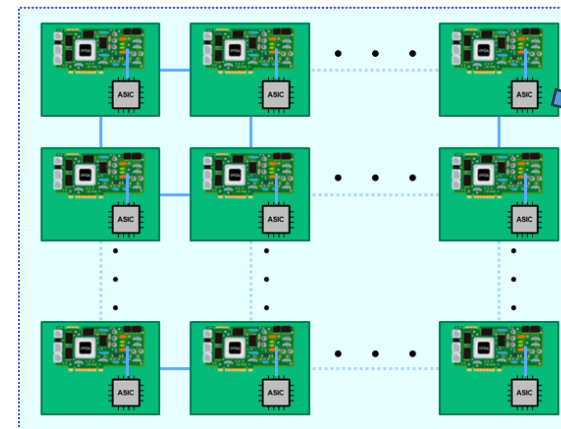
回路ブロック図

量子コンピュータを制御・エラー訂正する集積回路

- FPGA実装済の量子ビットの位置推定用デジタル回路をLSI化
 - LVDS(高速シリアルインターフェース)からの受信回路を新規設計
- エラー訂正するデジタル回路をLSI化
 - RISC-Vプロセッサと同梱してSoC (System-on-a-chip)化

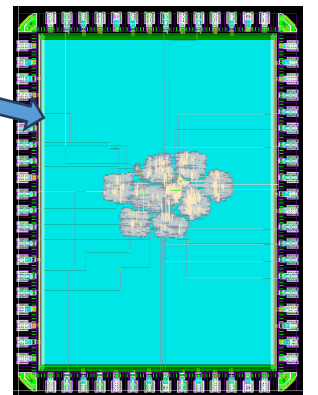


量子ビット位置推定用
デジタル回路(160万
ゲート)



誤り訂正用FPGAクラ
スタ

一部をLSI化し、
高速低電力に



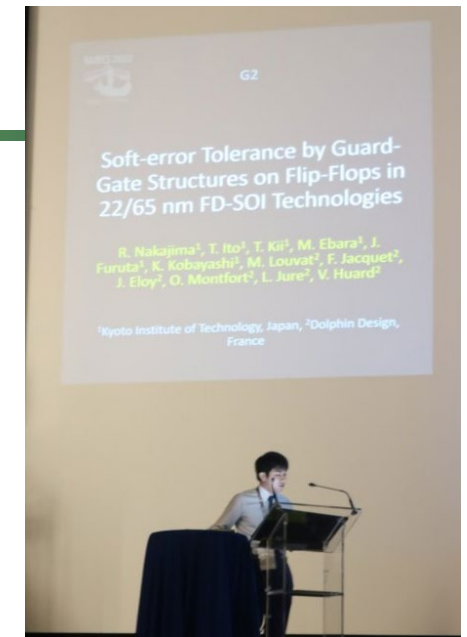
エラー訂正用SoC

国際会議での発表

- ・コロナ禍を経て、オンラインでの発表から対面での発表へと移行
 - 4月開催のIRPS 2024でも2件のポスター発表

回路とシステムに関する主な発表

発表機関	講演タイトル	講演要旨(タイトル和訳と補足)	発表番号
Intel	Risk Management Informed by an Uncertain Bathtub Curve	不良率の経年変化を代表するバスタブカーブの実用性を最新の半導体デバイス技術で再検討する	5C.1(招待講演)
imec	A pragmatic network-aware paradigm for system-level electromigration predictions at scale	CMOS回路で従来使われていた独立配線のエレクトロマイグレーション(EM)寿命測定ではなく、電源ネットワークの冗長性を考慮したEM寿命モデルを提案	5C.2
京都工芸繊維大学とルネサスエレクトロニクス	Ultra Long-term Measurement Results of BTI-induced Aging Degradation on 7-nm Ring Oscillators	7nm技術で試作したリング発振器のBTI劣化を5カ月にわたって測定(温度125℃、電源電圧0.75V)。発振周波数は時間のn乗に比例して低下した。BTIによって捕獲準位が時間とともに増加する劣化モデルを構築	7A.1
KU Leuvenとimec	The Role of Mobility Degradation in the BTI-Induced RO Aging in a 28-nm Bulk CMOS Technology	市販の28nmバルクCMOS回路設計ツールが備える劣化シミュレーションと試作したリング発振器の測定値を比較。デバイスの測定値からBTIによるキャリア移動度の低下が回路の経年劣化を起こすモデルを構築した	7A.3
富山県立大学など	A 13-bit Radiation-Hardened SAR-ADC with Error Correction by Adaptive Topology Transformation	シリコン面積のオーバーヘッドがほとんどない、放射線耐性を備えた13ビットのSAR方式AD変換器回路を開発。放射線検出器のペアを内蔵し、回路を動的に変更して誤り訂正を実行	9B.3



RADECSでの発表



IRPSでの発表

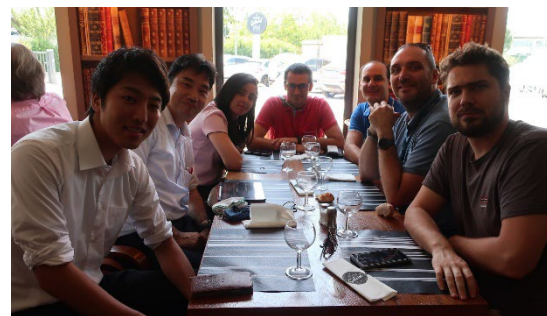
2023 Copyright by Akira Fukuda. All rights reserved.

IRPS2023での発表がPC Watchの[記事](#)で紹介

多数の企業等との共同研究・研究協力実績

- 自動車半導体最大手(ルネサスエレクトロニクス)
 - 最新FinFET LSIの経年劣化, パワー半導体の放射線効果
- SoC会社 (ソシオネクスト)
 - ソフトウェア測定方法の標準化 (九大, 阪大, JAEAとも)
- 理研
 - スーパーコンピュータ富岳の信頼性
 - 量子コンピュータ
- imec (ベルギーの研究機関)
 - 2014, 2017, 2019に学生派遣
 - パワーエレクトロニクス, 耐放射線LSI, 経年劣化, 量子コンピュータ
- ~~半導体製造装置(東京エレクトロン)~~
 - ~~DRAMのソフトウェア~~
- ~~半導体(ローム)~~
 - ~~130nmプロセスのソフトウェア耐性向上策~~
- ~~海外企業 (Dolphin Design, フランス)~~
 - ~~2019に学生派遣~~
 - ~~22nm FDSOIプロセスのソフトウェア耐性評価~~
 - ~~量子コンピュータ用LSIの部品(IP)提供~~

終了済



Dolphin担当者与会食



Imec 量子コンピュータ担当者と昼食



Googleも訪問

電子システム工学で
最多の共同研究実績
実用化を目指したpracticalな研究を