



集積システム講座

小林・古田研究グループの紹介



小林教授
ディジタル電子回路,
集積回路工学
担当



古田助教
プログラミング演
習担当

シリコン半導体 (LSI) は産業の米

- 半導体不足で自動車が作れない
 - ETC車載器すら不足
 - 半導体工場の相次ぐ火事や停電で品不足に拍車
 - 2020/10 旭化成, 2021/3 ルネサス, TSMC火災
 - 2021/1-3 米国テキサス州オースチンの大停電
- 半導体不足でゲーム機が作れない
 - PS5の品不足で転売屋横行
- 日米が相次いで半導体支援・増強策
 - 経産省が2nmに向けて700億円の補助金でRapidus設立
 - TSMCが熊本に工場, デザインセンター設立
 - インテルが2兆円を投資して新工場建設

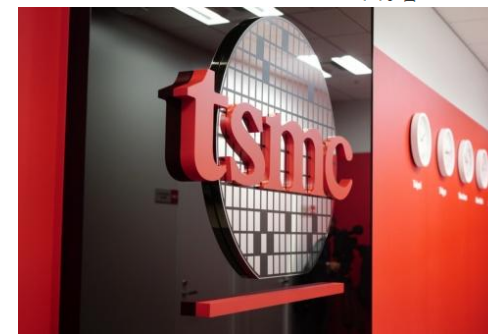


先端半導体の国産化目指す
「Rapidus」北海道 千歳に工場
建設へ (NHKニュースより)

TSMC熊本工場「1期生」に125人、地元大学からも
シリコンアイランド

シリコンアイランド [+ フォローする](#)
2023年4月3日 15:30

日経新聞より



TSMCが大阪に新拠点、新卒も積極採用で
26年に国内社員を400人に倍増

久保田 龍之介 日経クロステック/日経エレクトロニクス

過半導体

- ・コンセントに刺さるもので半導体が載っていないのは
安いトースターのみ

Yahoo Newsで取り上げられました



過半導体って何だろう？

津田建二 | 国際技術ジャーナリスト・News & Chips編集長
4/1(金) 16:48



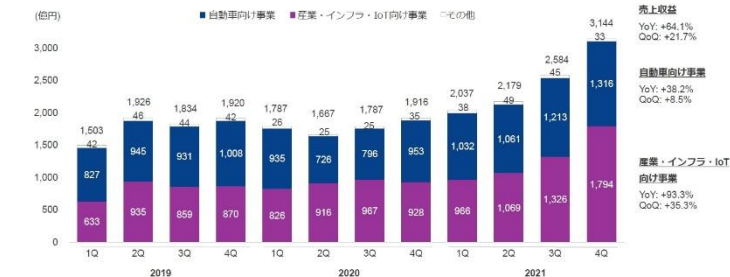
京都工繊大学教授の小林和淑さんから「過半導体」という言葉を広めてほしいと言われた。この半導体不足のご時世に「過ぎたる半導体」とは何だろうか、と思った。同氏に問い合わせてみると、コンセントに差す電気製品は全て半導体を使っているという意味だという。半導体がいっぱいあるということを表している。確かに、コンセントや電池を使う電化製品にはほぼ100%半導体が入っている。

ルネサスの車載半導体売上高が大幅増、 ADASと電動化がけん引

小島 郁太郎 日経クロステック／日経エレクトロニクス

2022.02.15

売上収益 四半期推移



一方で、なんにでも半導体（「コンセントに刺さるもので半導体が載っていないのは安いトースターのみ」）の弊害が、
「過半導体による半導体不足」

2022/3の学振165委員会での講演スライドより

小林・古田グループのテーマ

- 集積回路の経年劣化(永久故障, 動的変動)
 - 集積回路の長期信頼性測定の回路構造の提案とその実測

ルネサスエレクトロニクスとの共同研究

- 集積回路の一時故障(ソフトウェア)
 - 地上および宇宙向けの高信頼性集積システム

ローム, ソシオネクスト, Dolphin Design, 東京エレクトロン, 理研との共同研究

- 極低温環境での超伝導量子ビット制御回路の設計

ムーンショット

- ワイドギャップ半導体向け電力変換回路

科研費

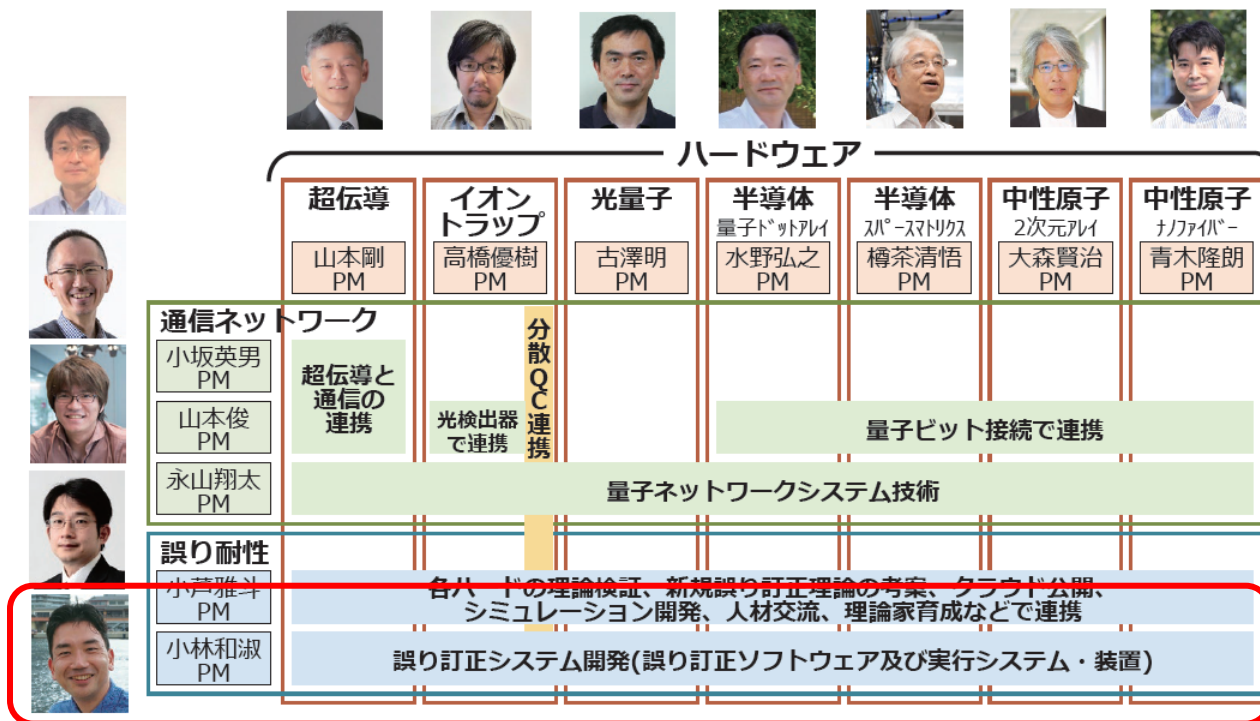
興味によりテーマを割り当て

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)に
 - 高井先生, 新谷先生も課題推進者に加えて, 2022年10月に研究を開始

課題推進者一覧



小林



佐野



三好



高井



土谷



新谷



塩見



宮原



佐藤

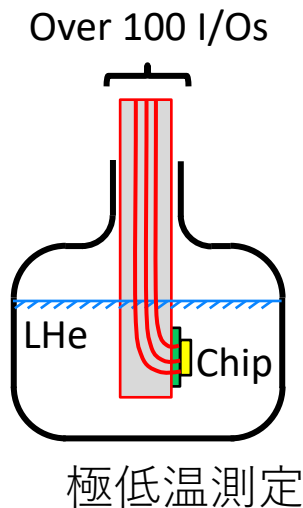
量子ビット制御, 計算機アーキテクチャ, 集積回路の専門家で構成

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



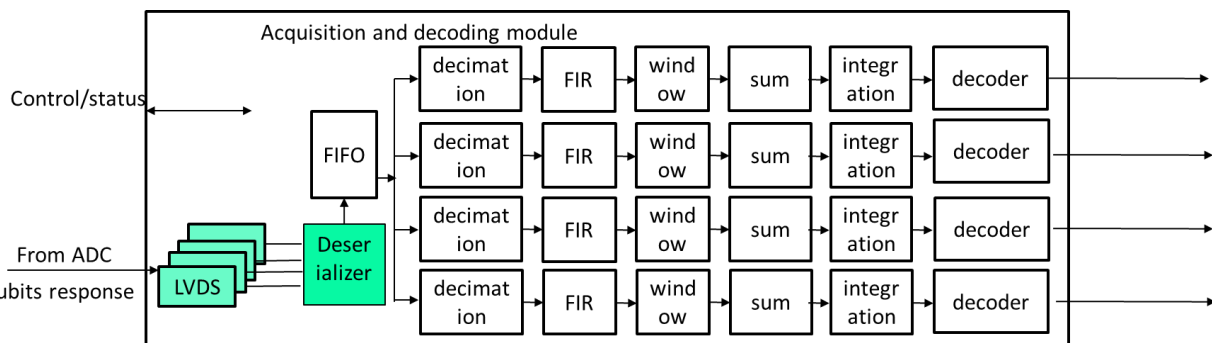
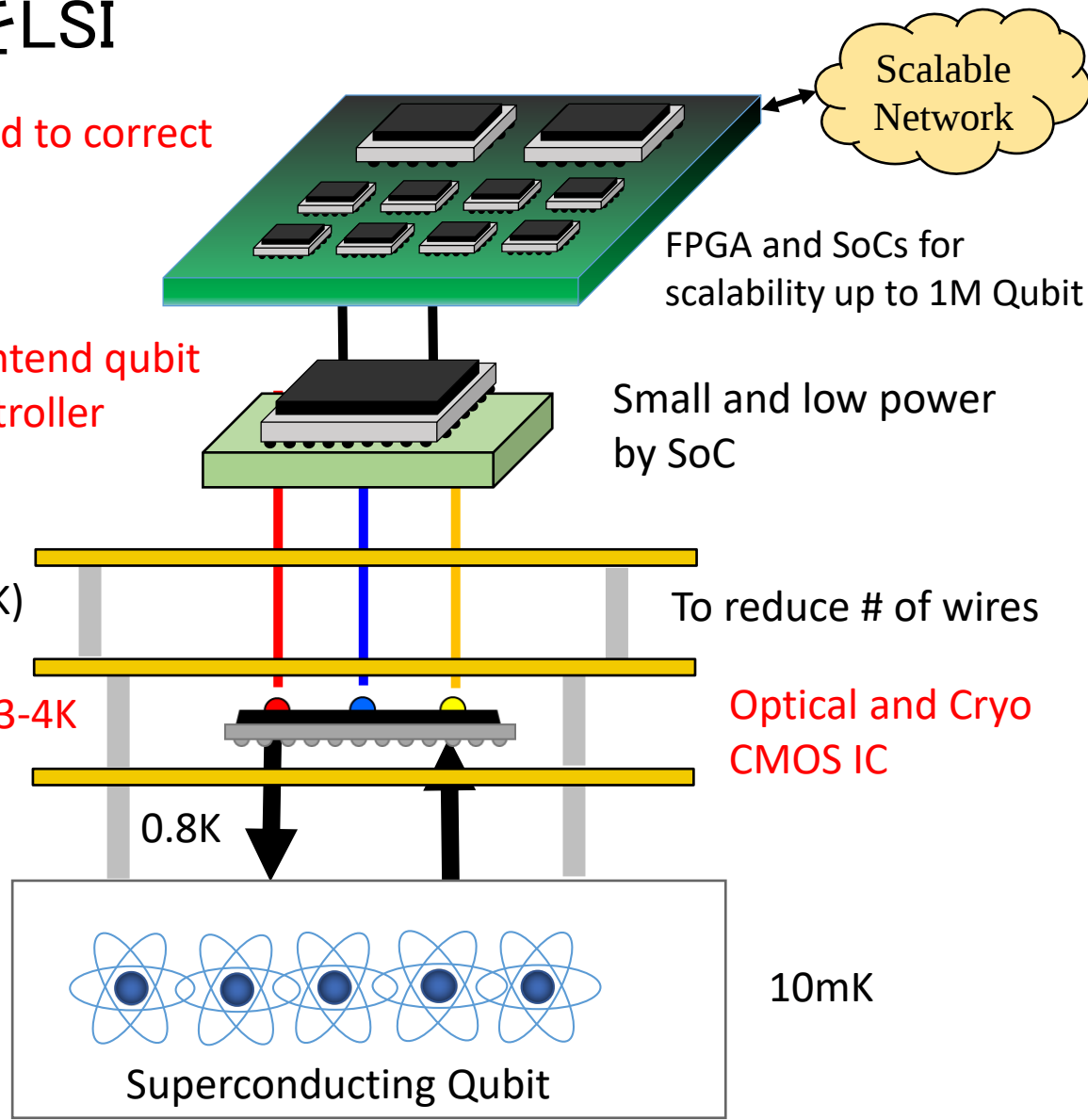
QuEra社の量子コンピュータ制御器



Backend to correct errors

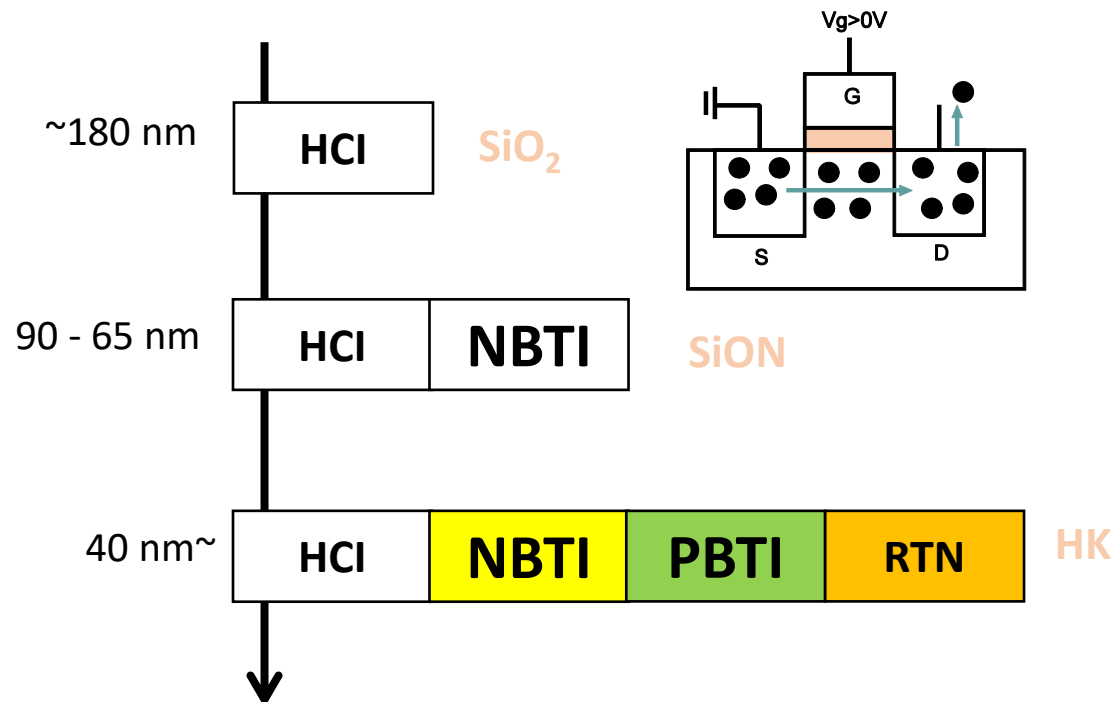
室温

Frontend qubit controller

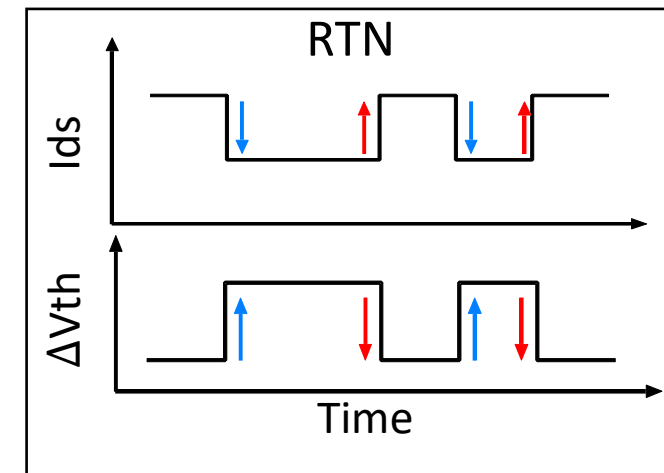
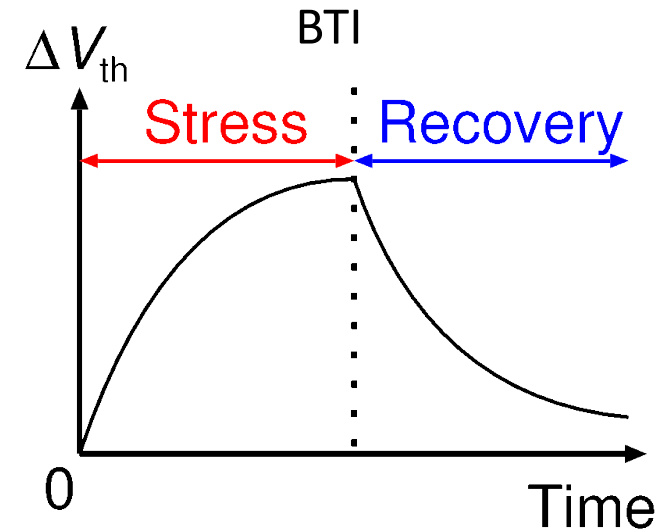


回路ブロック図

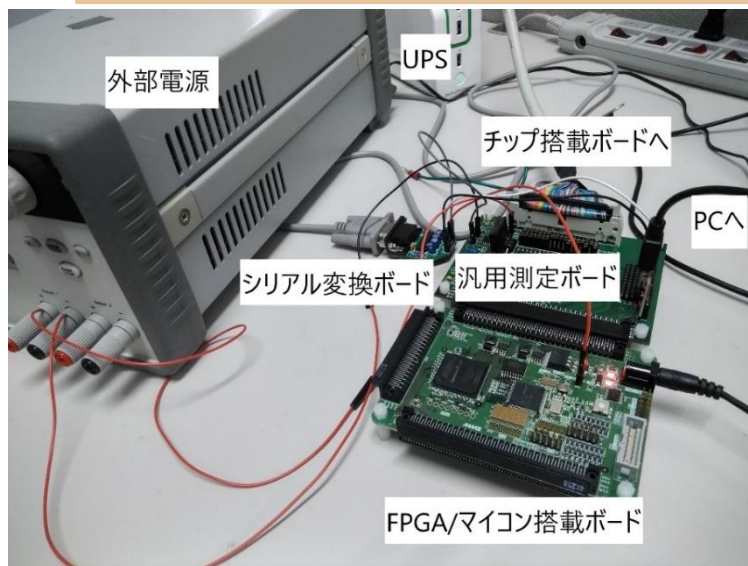
ゲート酸化膜起因の信頼性低下



- Siは単一原子のダイヤモンド結晶のため、欠陥は少ないが欠陥起因の劣化現象が起こる。
 - RTN : 特性がランダムに変動
 - NBTI/PBTI: 時間とともに特性が劣化



長期信頼性測定系



- テスタでは長期間の測定不可
 - 共用 + 高電力 + PC制御
- マイコンとFPGAで超長期測定
 - 専用 + 省電力 + マイコン制御
 - マイコンプログラム + FPGA回路 + 定電圧源
- 7nm FinFETで試作されたLSIを測定
 - リングオシレータの発振周波数を測定
- IRPS2023で発表
 - PC Watchで紹介

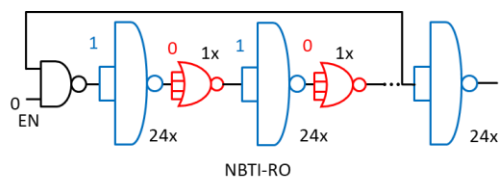
京都工芸繊維大学とルネサスエレクトロニクス

Ultra Long-term Measurement Results of BTI-induced Aging Degradation on 7-nm Ring Oscillators

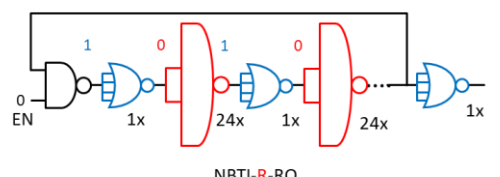
7nm技術で試作したリング発振器のBTI劣化を5カ月にわたって測定(温度125℃、電源電圧0.75V)。発振周波数は時間のn乗に比例して低下した。BTIによって捕獲準位が時間とともに増加する劣化モデルを構築

京都工芸繊維大学とルネサスエレクトロニクスは共同で、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)してみた(発表番号7A.1)。発振周波数は時間のn乗に比例して低下した。

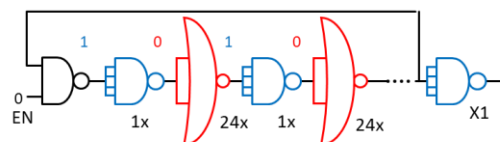
PC Watch 2023/3/27 福田昭氏記事より



NBTI-RO

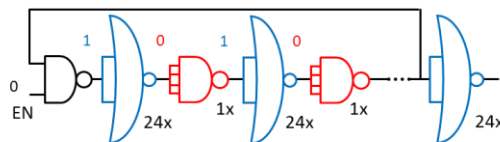


NBTI-R-RO



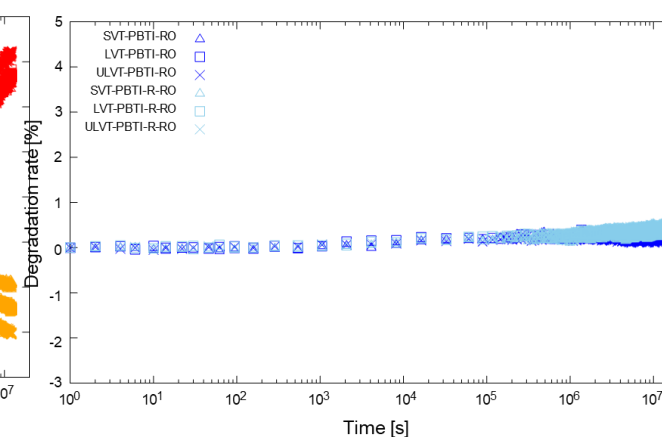
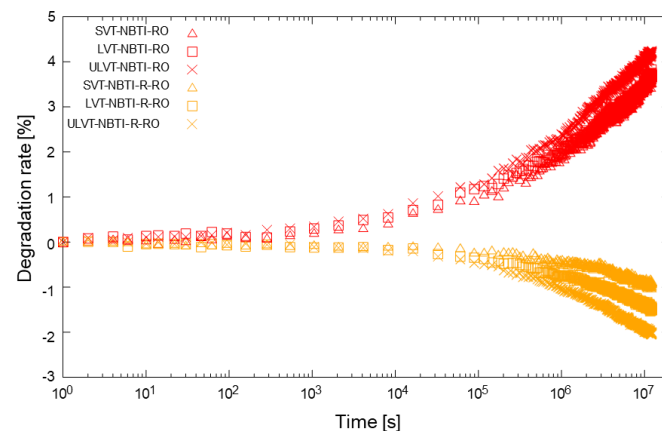
NBTI-RO

N/PBTI-sensitive ROs



NBTI-R-RO

N/PBTI-reversely-sensitive ROs



145日の測定結果

ソフトウェアとは？

- 放射線がLSIに衝突

- α 線

- 放射性不純物より

- 重イオン

- 宇宙で問題

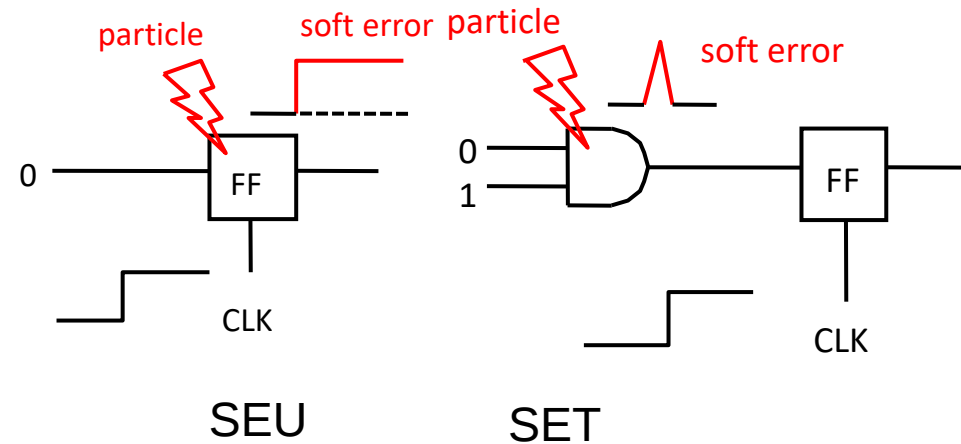
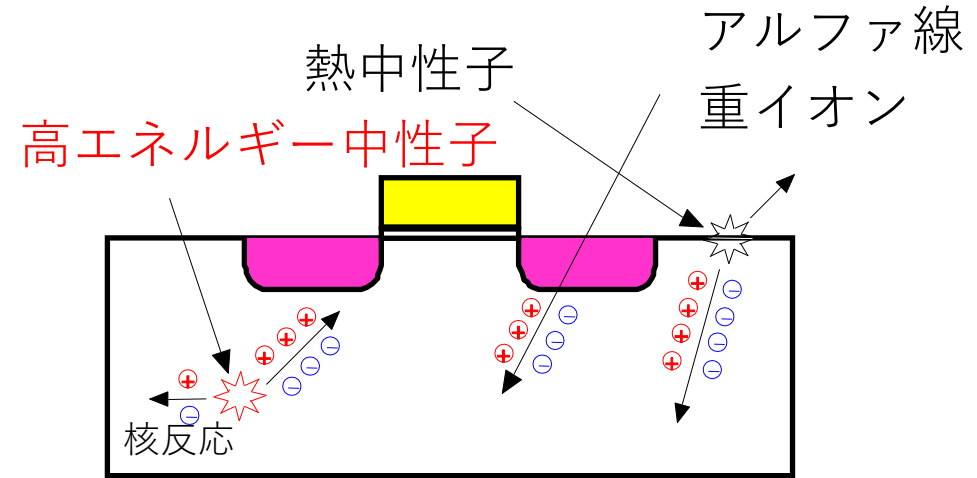
- 高エネルギー中性子

- 宇宙より
 - 航空機では影響大

- 熱中性子

- LSIが一時的に誤動作

- スーパーコンピュータ(京)ではすでに対策済



ソフトウェアで大損！

宇宙線の影響で30億円の特損計上、横河電の4～6月期

企業決算 + フォローする

2019年8月6日 20:30



保存



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。

電子機器の不具合で大変



<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



なんと、2023/4/3にも発生

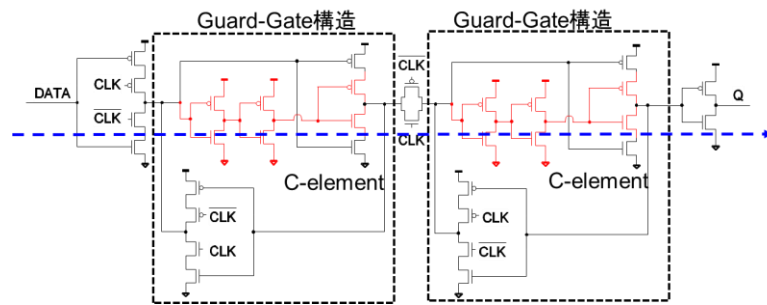


ANAシステム不具合 復旧も運航に大幅な遅れ 50便余が欠航も

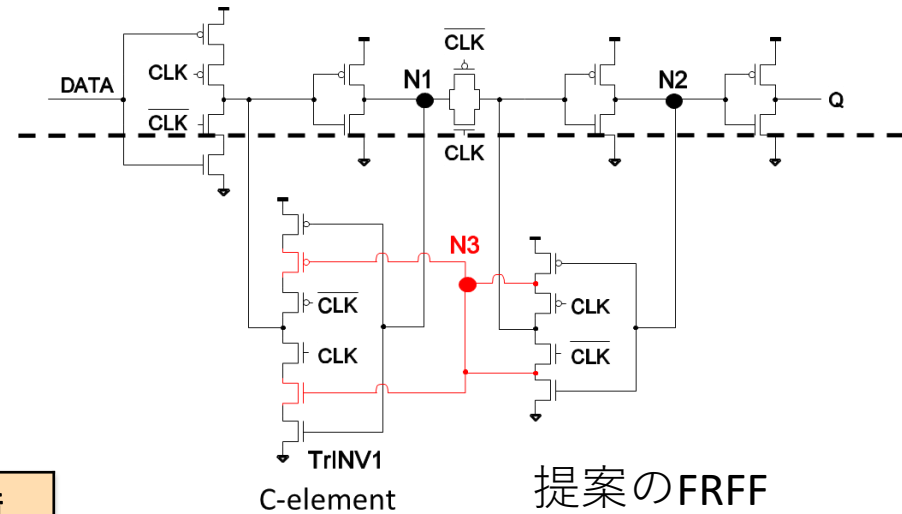
2023年4月3日 19時13分 IT・ネット

3日午後2時すぎ、全日空の国内線のシステムに不具合が発生し、1時間ほど予約や搭乗手続きができない状況になりました。各地の空港では運航に大幅な遅れが出ているほか、50便余りの欠航が出るなど影響が続いています。

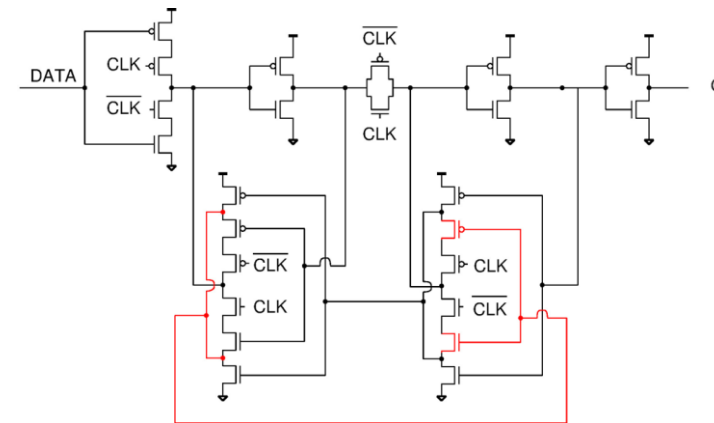
耐放射線フリップフロップ



従来型のGGFF



提案のFRFF

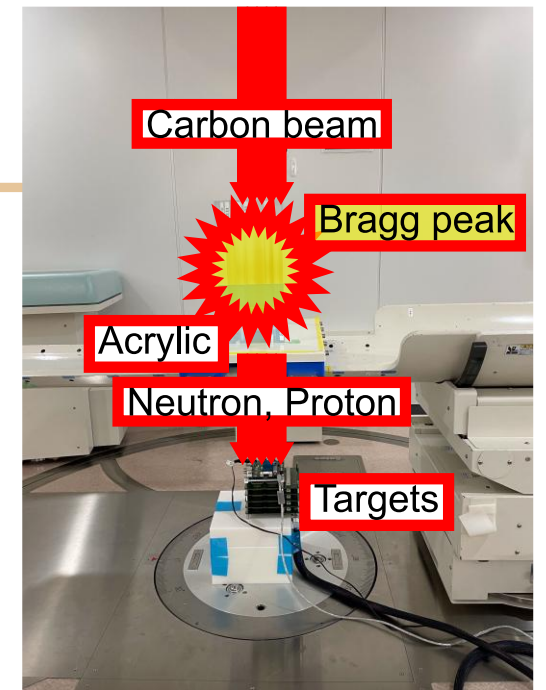


提案改良型FRADFF

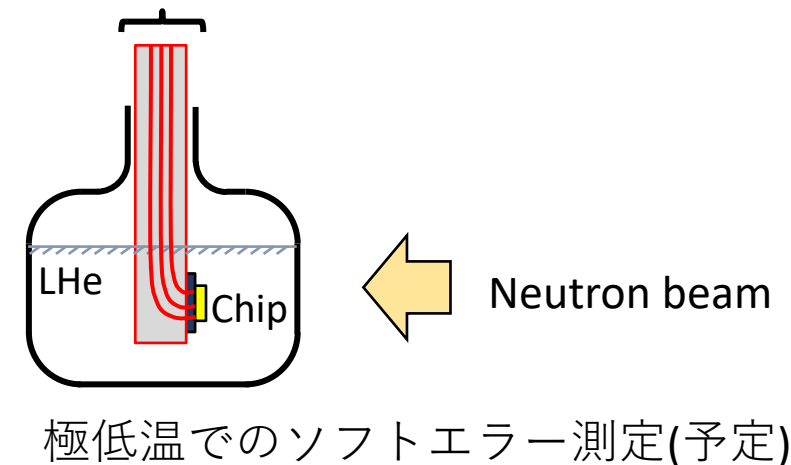
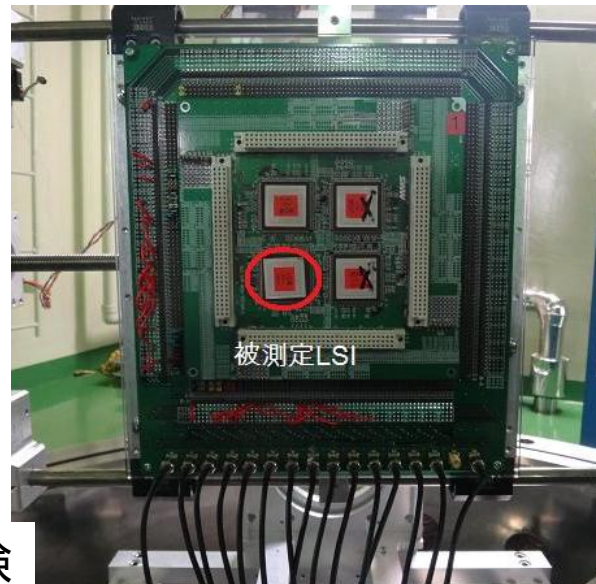
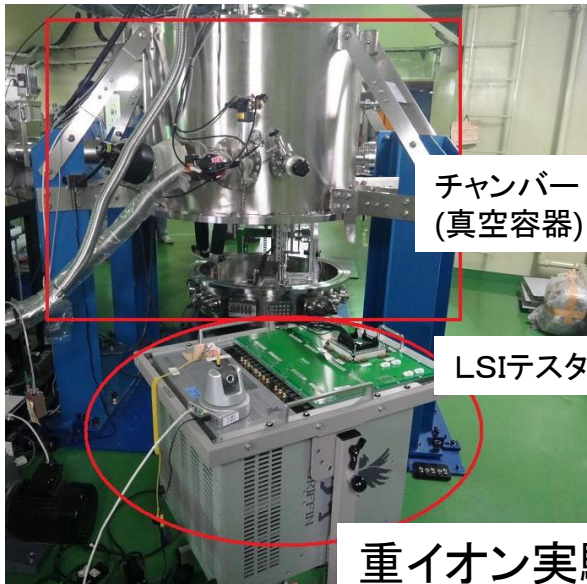
フリップフロップ	遅延時間	消費電力	面積
一般的なFF	1	1	1
Stacked FF	1.76 (1)	1.05 (1)	1.24 (1)
GGFF	2.20 (1.25)	1.06 (1.01)	1.47 (1.19)
FRFF (提案FF)	1.06 (0.60)	1.03 (0.98)	1.06 (0.85)
FRADFF(改良型FF)	1.08 (0.61)	1.02 (0.97)	1.12 (0.90)

ソフトウェア耐性評価実験

- 地上での耐性評価
 - α 線: 研究室内
 - 中性子線: 阪大RCNP, 群馬大医学部他
 - 重粒子: 群馬大学医学部
- 宇宙での耐性評価
 - 重イオン線: QST加速器(JAXA所有のチャンバーにて)

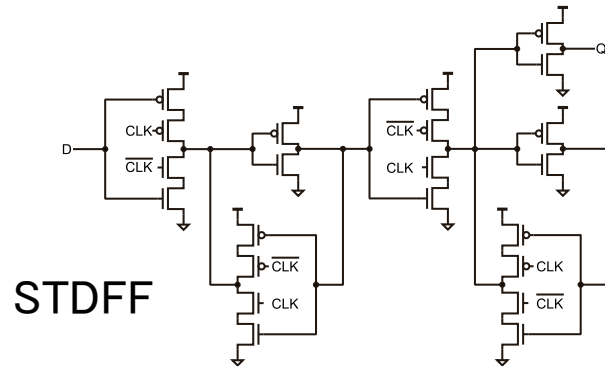


群馬大学医学部での
重粒子照射実験

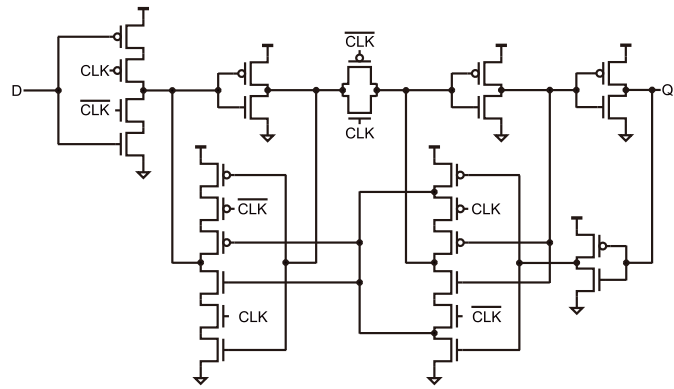


極低温でのソフトウェア測定(予定)

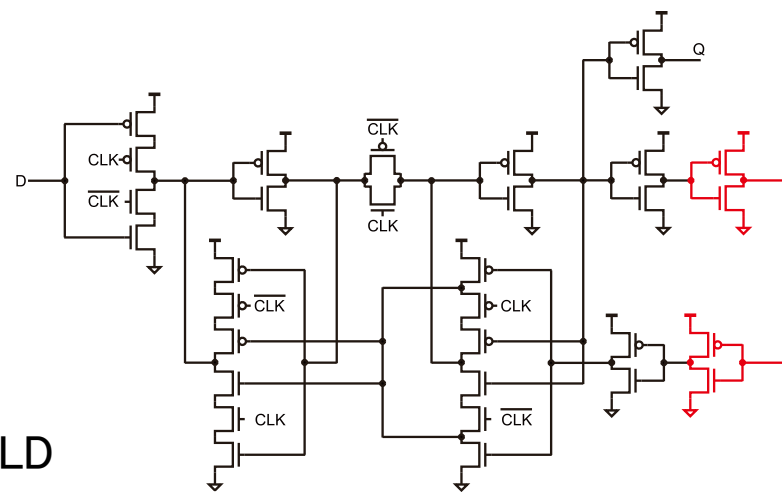
重イオンでの測定結果



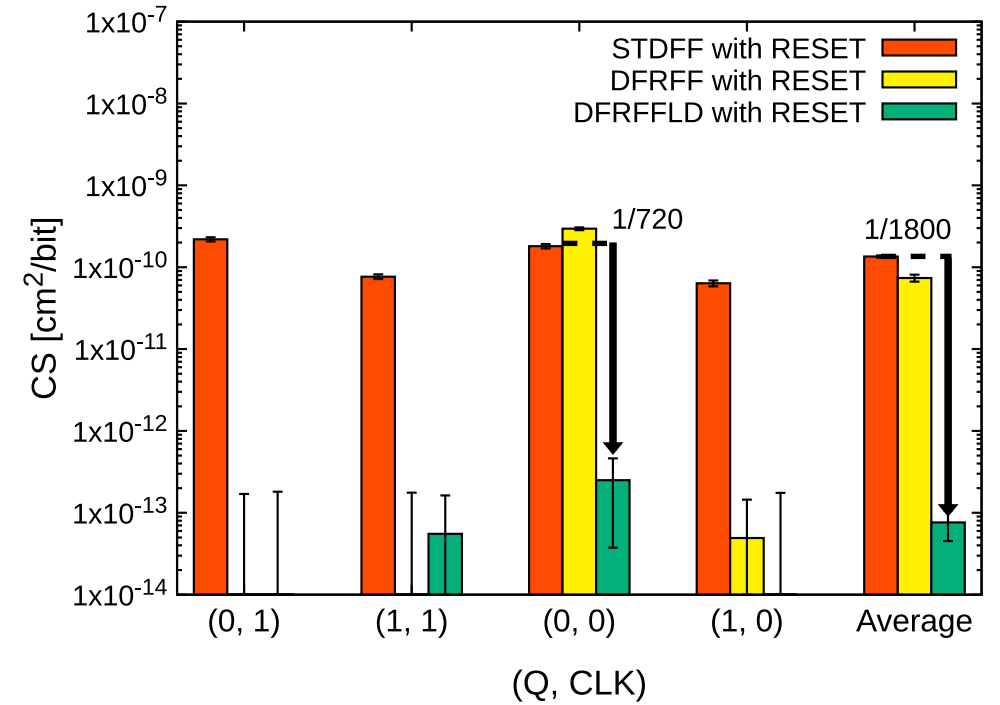
- STDFF
 - 通常のFF
- DFRFF
 - 耐ソフトウェアFF
- DFRFFLD
 - 改良版



DFRFF



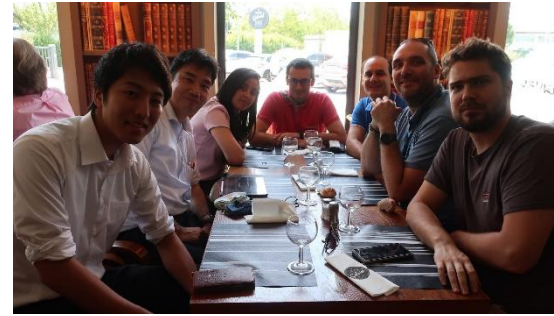
DFRFFLD



DFRFFLDでは通常FFの1800倍の耐性

多数の企業等との共同研究実績

- 半導体(ローム)
 - 130nmプロセスのソフトエラー耐性向上策
- 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)
 - ソフトエラー測定方法の標準化(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
- 海外企業(Dolphin Design, フランス)
 - 2019に学生派遣
 - 22nm FDSOIプロセスのソフトエラー耐性評価
 - 量子コンピュータ用LSIの部品(IP)提供
- 半導体製造装置(東京エレクトロン)
 - DRAMのソフトエラー
- 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



Dolphin担当者と会食



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