

宇宙線によるソフトウェア： 社会的インパクトと評価技術

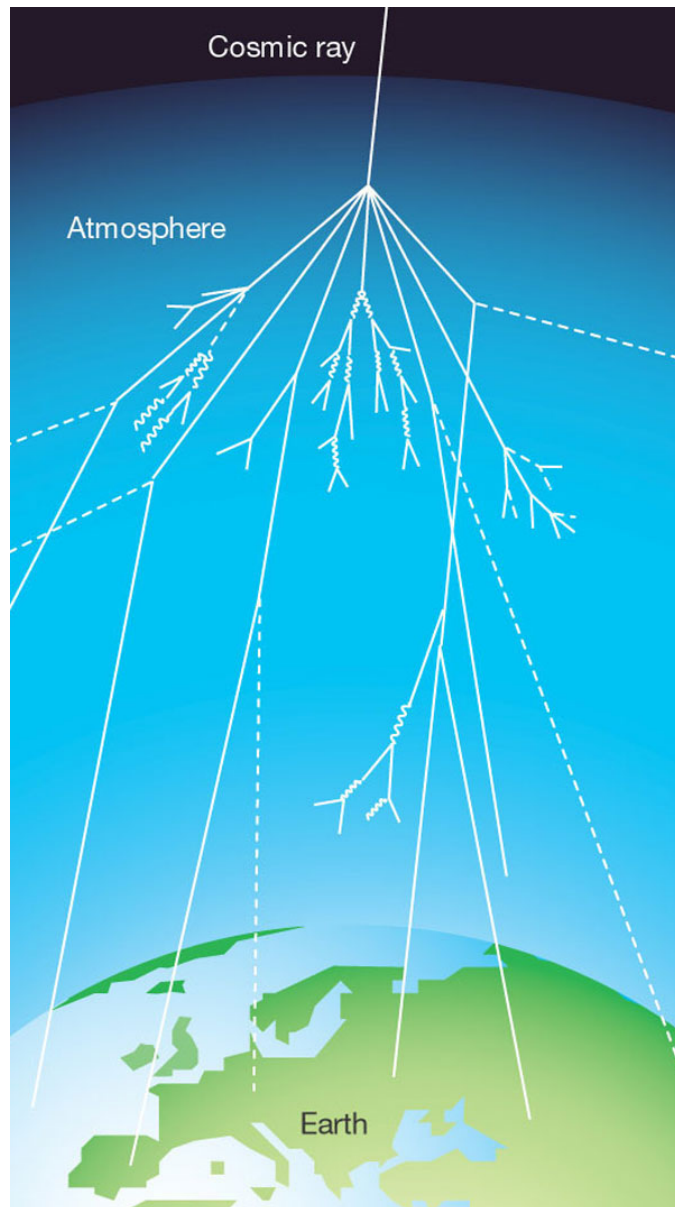
橋本昌宜

大阪大学情報科学研究科

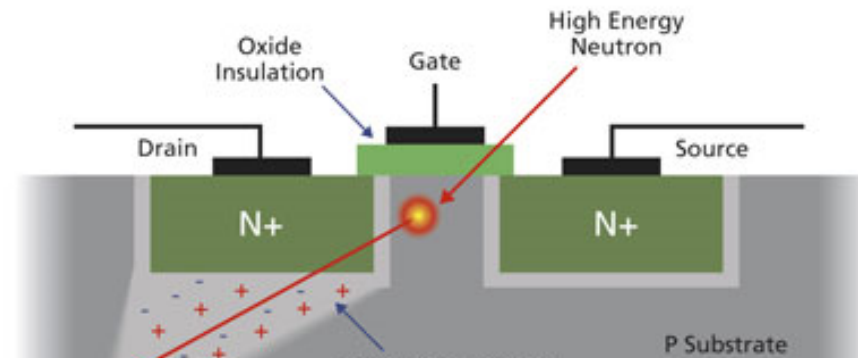
hasimoto@ist.osaka-u.ac.jp

<http://www-ise1.ist.osaka-u.ac.jp/~hasimoto/>

地上環境での中性子



- 宇宙線が中性子を発生
 - 手のひらを高速中性子が1秒に約1個通過
- シリコン中の核反応により二次イオンが発生し、電荷を付与
 - データが壊れる
(ソフトウェア)

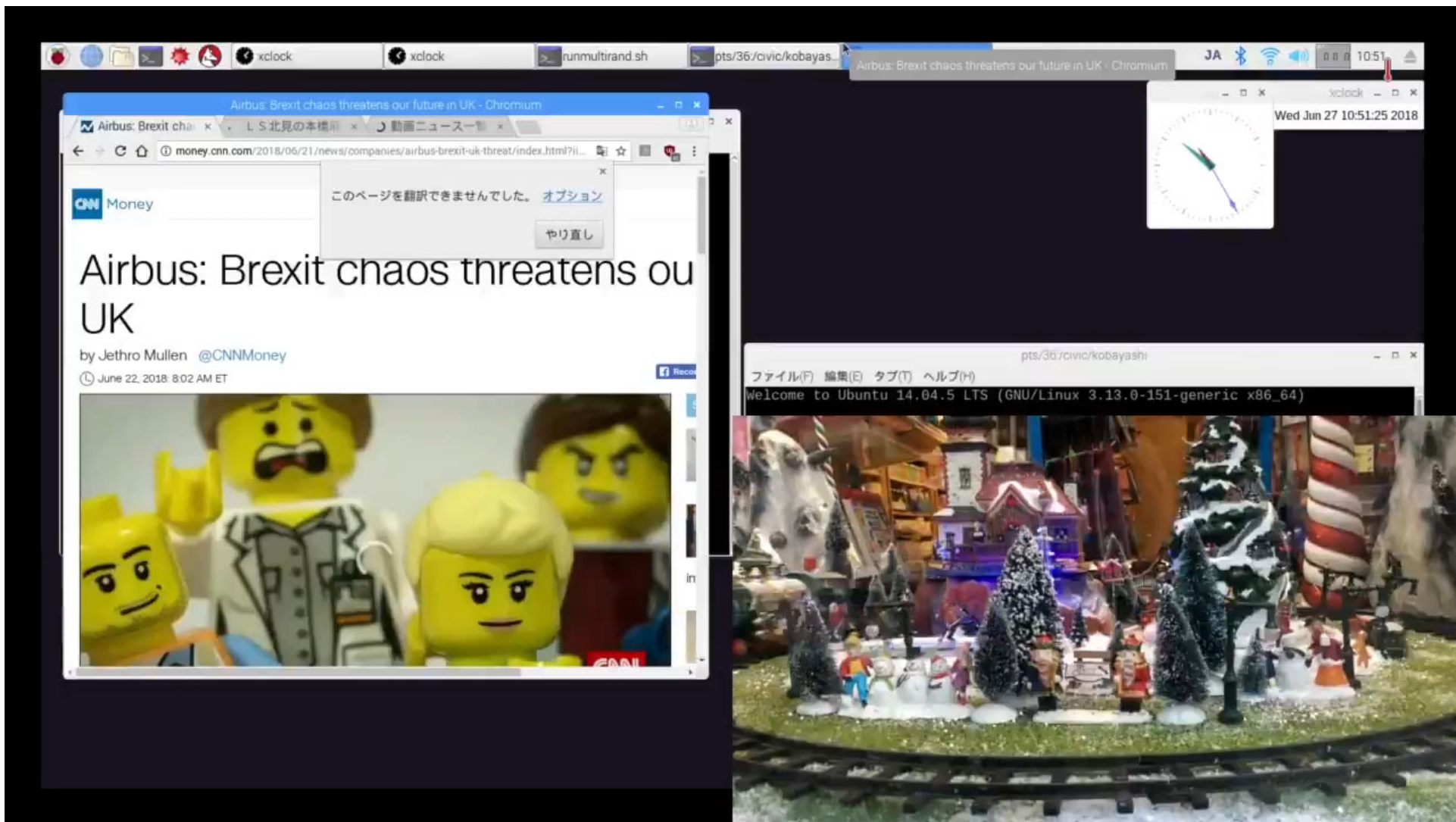


ソフトウェアで起こす誤動作例

Raspberry Pi: 電源やSDカードでLinuxが動く
「ワンボードマイコン」

京都工芸繊維大 小林先生グループ

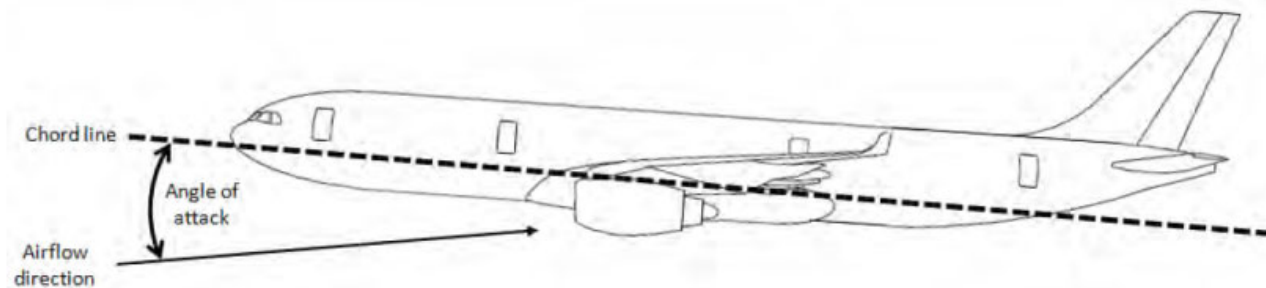




航空機への放射線の影響



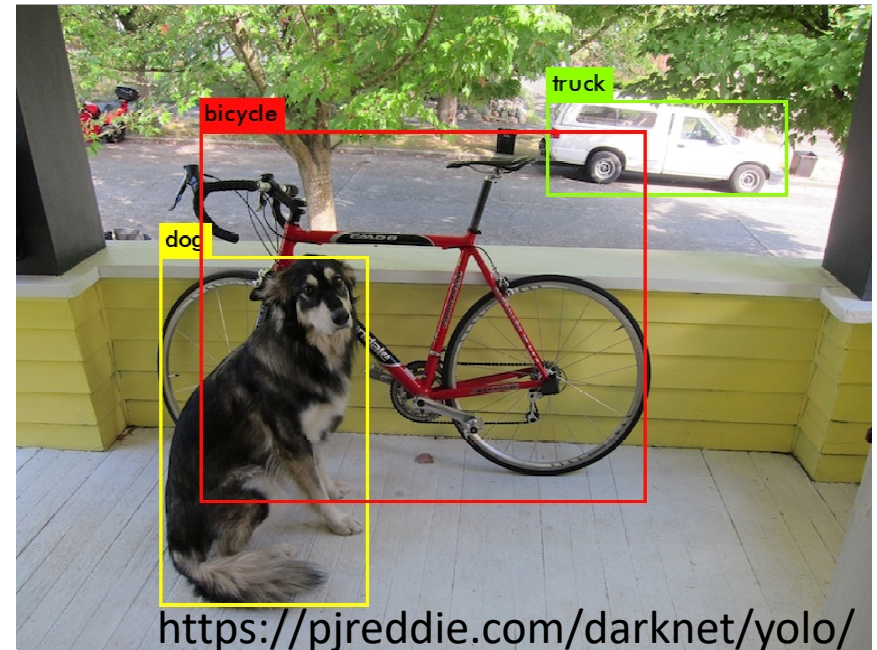
- フライバイワイヤの制御システム故障により急降下
 - 2008年10月
 - 1/3の乗客と3/4の乗員が怪我



物体認識とGPU

GPU: Graphics Processing Unit

深層学習による
物体認識高度化



$$\underline{O[n][m][x][y]} = \text{Activation}(\underline{\mathbf{B}[m]} + \sum_{i=0}^{R-1} \sum_{j=0}^{S-1} \sum_{k=0}^{C-1} \underline{\mathbf{I}[n][k][Ux+i][Uy+j]} \times \underline{\mathbf{W}[m][k][i][j]}),$$

**GPUが安全性を要求するアプリケーションに
利用されるように[1]**

例:自動運転

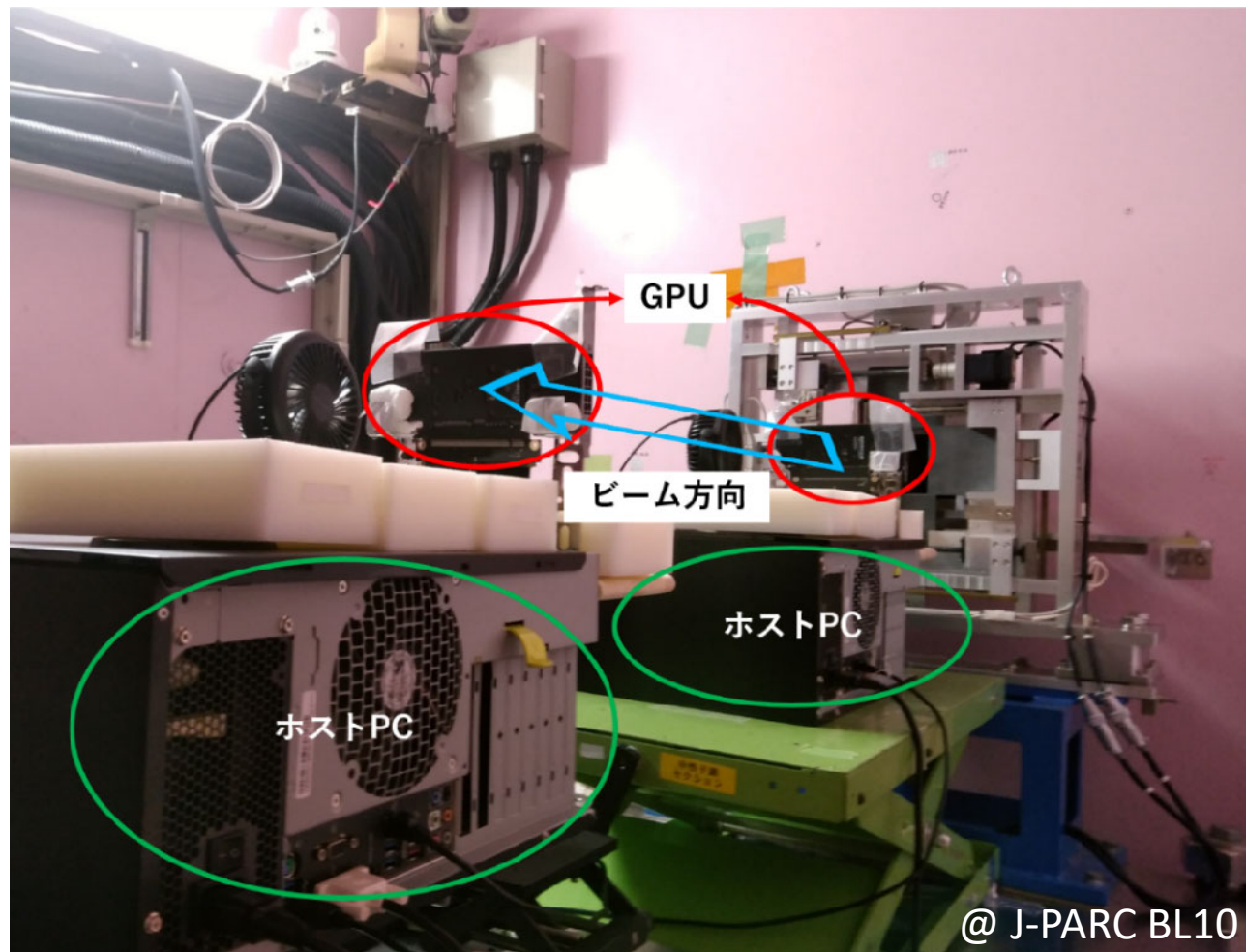
世界に約10億台, 1億時間に1回ソフトエラーが発生すると
世界で1時間に約10台誤動作(年間8万台以上)

[1] <https://www.nvidia.com/ja-jp/self-driving-cars/drive-platform/>

GPUに中性子を照射

計算間違いやクラッシュが発生

ポスターあり (阪大 伊東さん)



FPGAに照射
ポスターあり
(京工繊大
河野さん)

ソフトウェア評価のビジネス化の課題

大阪大学 社会経済研究所
石田 潤一郎、松島 法明

【課題1】 潜在的顧客は、ソフトウェアによる具体的な不具合に直面していないため、実感してもらう必要

✓ 広報

【課題2】 顧客が安心してソフトウェア対策を依頼するには、対策の効果を計測する術が必要

✓ 国際標準化したソフトウェア評価技術

【課題3】 ネットワーク構造の場合、ネットワーク内機器を販売している企業が多数存在し、1社がエラー削減努力をしても、他社機器から影響を受ける

✓ 社会的実装 (規制等も視野)

NHKによる取材と報道



- 4/2, 5/10放送
- CGによる宇宙線起源ソフトエラーの直感的説明
- ソフトエラーのリスクと評価・対策の重要性を報道

https://www3.nhk.or.jp/news/business_tokushu/2018_0419.html

Web広報と新聞報道

講談社Web

https://gendai.ismedia.jp/articles/-/56724

2018.08.18 #素粒子 #電圧

あなたのスマホのフリーズ、原因は降りそそぐ「宇宙線」かもしれない

スマート社会を脅かす「ソフトエラー」



QISS

産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム

プロフィール

いいね!

シェア 145

ツイート

B! ブックマーク 0

これからの超スマート社会において、スマホなどに内蔵される半導体は、より低電圧でも動作するようになる。

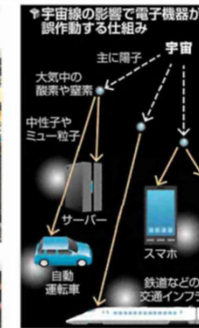
そうなると思っておけないのが、宇宙から降り注ぐ「宇宙線」の引き起こす「ソフトエラー」だ。その原理と対策を第一線から解説する。

宇宙線が飛行機を墜落させる？

2008年10月、シンガポールを飛び立ち豪・パース空港へ向かっていたカンタス航空72便は突如急降下しはじめた。

読売新聞 2018/11/15 夕刊

「宇宙線」から電子機器守れ



現代のリスク 地球には、太陽や、銀河のなかたなから降り注ぐ宇宙線が、絶えず降り注いでいる。宇宙線が、大気中の酸素や窒素と衝突すると、中性子や、素子の一種「ミュー粒子」など発生。コンピュータ

誤作動防ぐ研究続々

スマートフォンのパソコン、機械の制御装置など、世の中にあふれるコンピュータに、意外な「天敵」がいる。その正体は「宇宙線」。宇宙から地球に降り注ぐ高速の粒子で、誤作動のもとになりかねないという。大学や大手電機メーカーなどで行われている研究を追った。(前村尚)

日立製作所は2016年から、中性子によるソフトエラーがどのくらい起きているかを調べる実証試験を続けている。宇宙線以外の影響を受けやすい工夫した半導体約1000個を組み合わせ、中性子の飛来をひたすら待ち、誤作動が発生するかどうかを調べる手法だ。

重要部品で対策 実用性能で世界トップクラスのスーパーコンピュータ「京」は、高性能の中央演算処理装置(CPU)など約20万個の半導体によって、ソフトウェアを自動的に検知し、修復する回路を組み込むなどして対策を講じたという。

ルギー加速器研究機構などのチームは今年、茨城県東海村にある加速器施設「J-PARC」の装置を使った実験で、ソフトウェアが起きる割合はミュー粒子の電気的性質と関係があることを確かめたを発表した。

ソフトウェア評価のビジネス化の課題¹¹

大阪大学 社会経済研究所
石田 潤一郎、松島 法明

【課題1】 潜在的顧客は、ソフトウェアによる具体的な不具合に直面していないため、実感してもらう必要

✓ 広報

【課題2】 顧客が安心してソフトウェア対策を依頼するには、対策の効果を計測する術が必要

✓ 国際標準化したソフトウェア評価技術

【課題3】 ネットワーク構造の場合、ネットワーク内機器を販売している企業が多数存在し、1社がエラー削減努力をしても、他社機器から影響を受ける

✓ 社会的実装

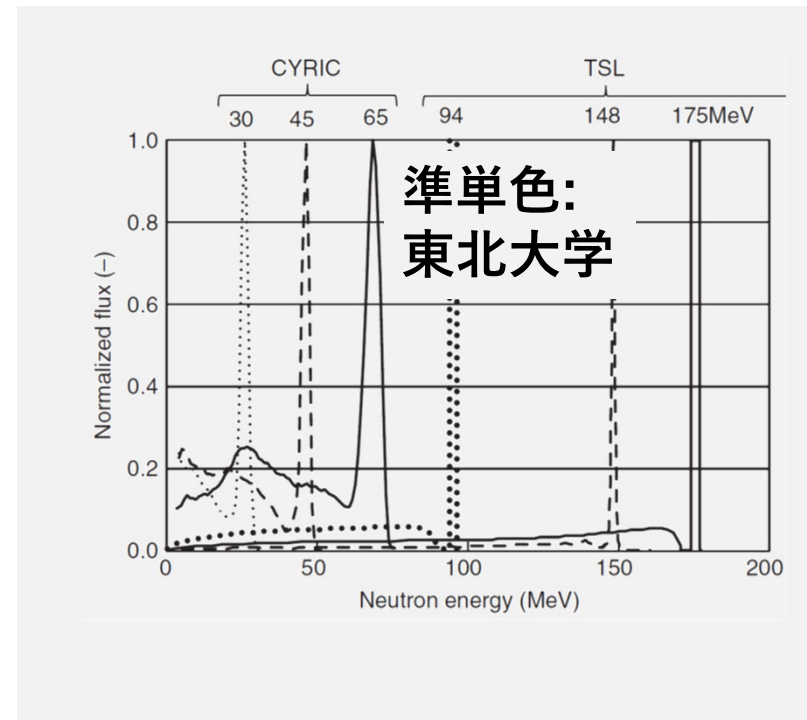
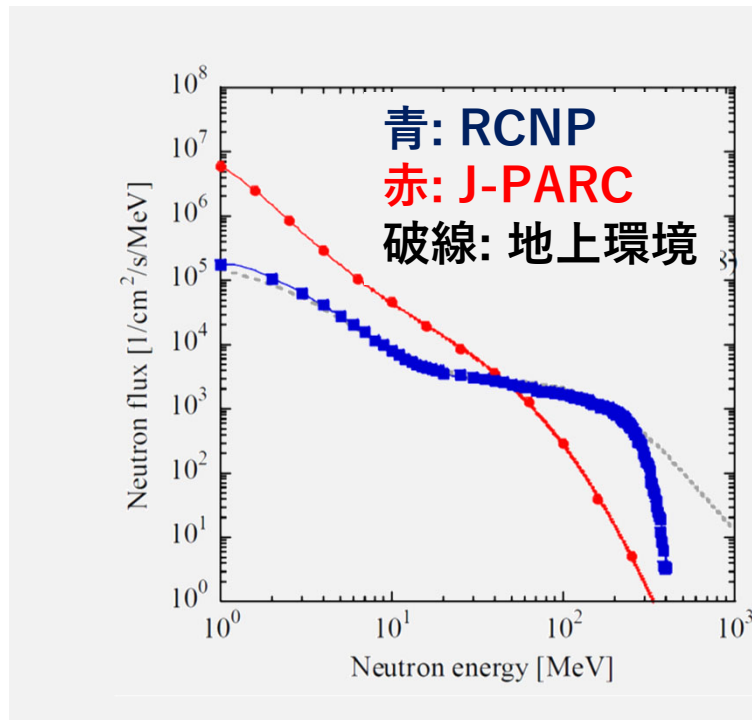
多数の加速試験が必要だが

- 地上環境を再現する試験場所は世界に4箇所しかない
 - 大阪大学 核物理研究センター(RCNP)^(*)
 - 米国 ロスアラモス
 - 英国 ラザフォード
 - カナダ トライアンフ

(*) 地上に対して 10^8 倍加速して実験
3.2年分を1秒で評価

目標1, 2: ソフトエラー 評価技術の開発と標準化

- 多様な国内中性子源を活用し、求められる試験精度に応じた評価技術を開発・提供
 - エネルギースペクトルの違いを様々な測定とシミュレーションの比較により校正



SER(*)見積もり

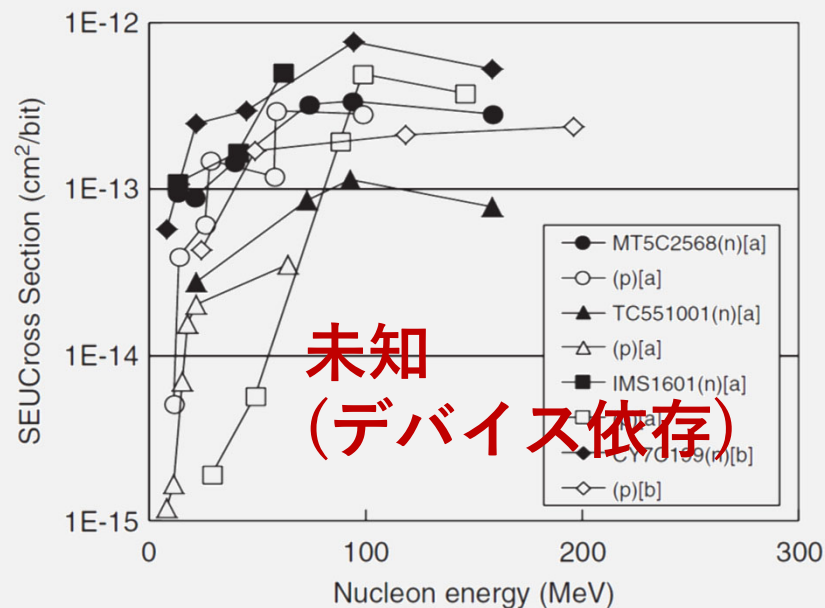
(*) Soft Error Rate, 地上で単位時間あたりに発生するエラー数

以下の二つ物理量の積を積分するとSERが導出可能

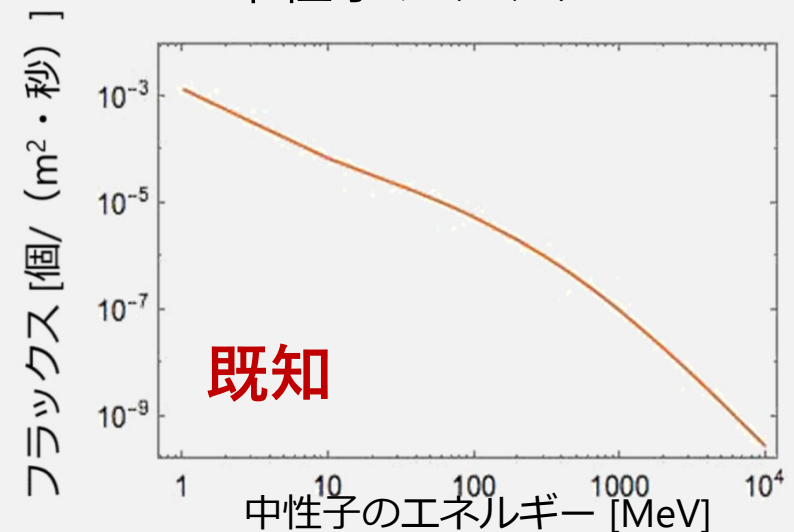
- σ_{SEU} : エネルギー毎のエラー断面積
- ϕ : 地上中性子フラックスのエネルギースペクトラム

$$SER = \int \sigma_{SEU}(E_n) \phi(E_n) dE_n$$

エラー断面積

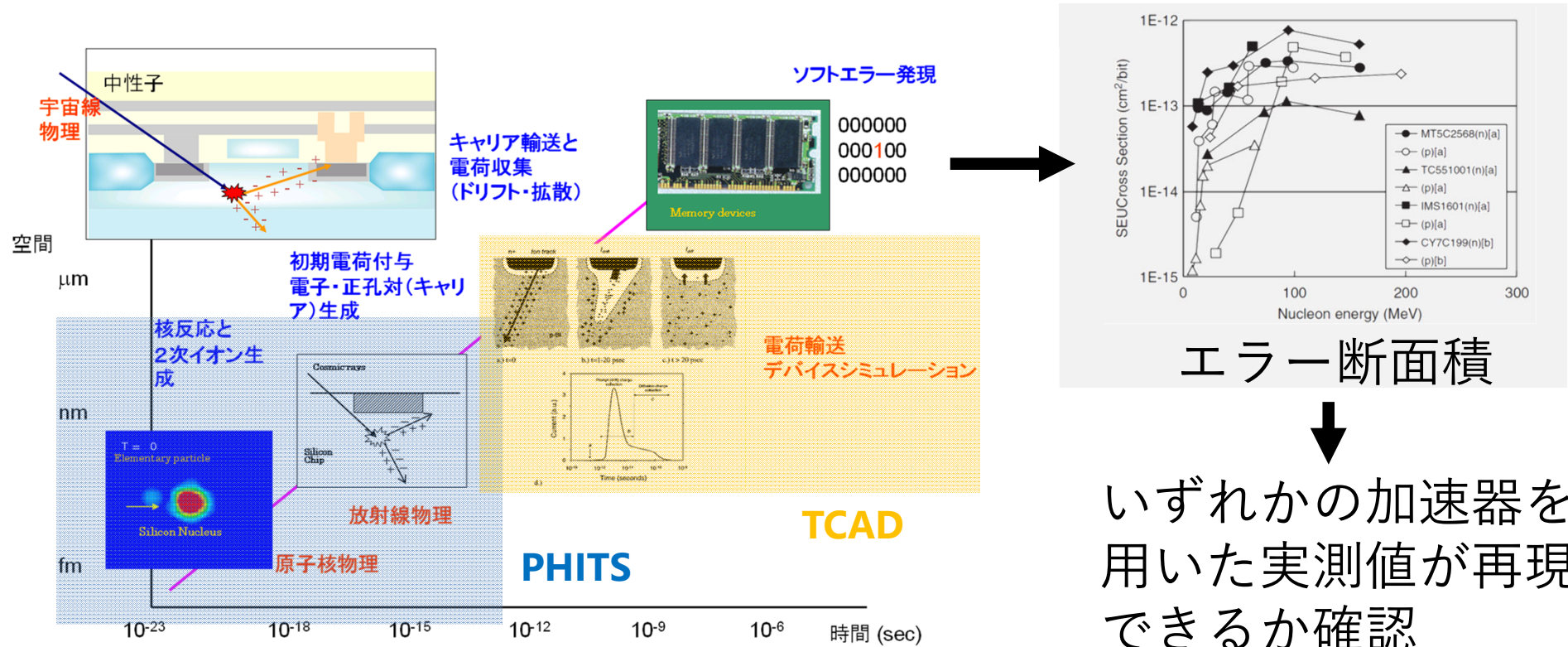


中性子フラックス



シミュレーションによる エラー断面積の算定

現実的なシミュレーションフレームワークの整備



エラー断面積

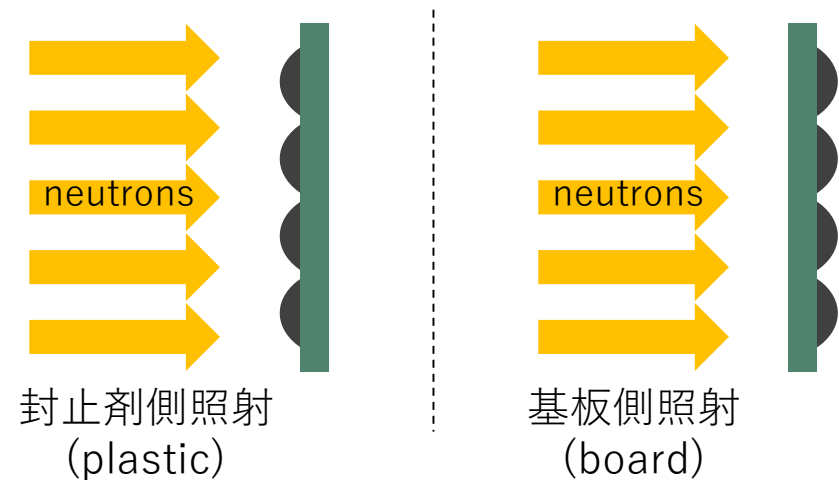
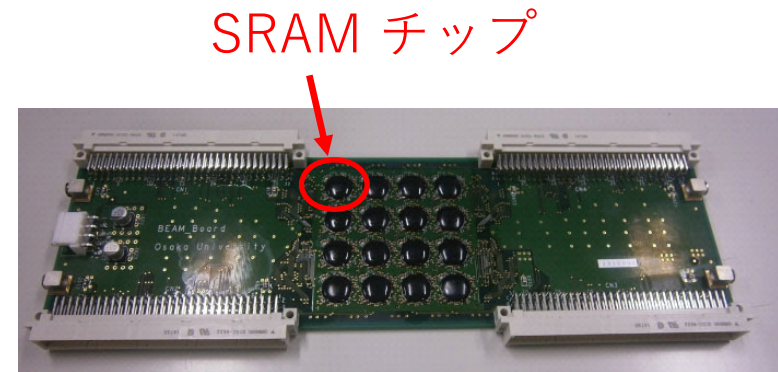
いずれかの加速器を用いた実測値が再現できるか確認

地上SERを算出

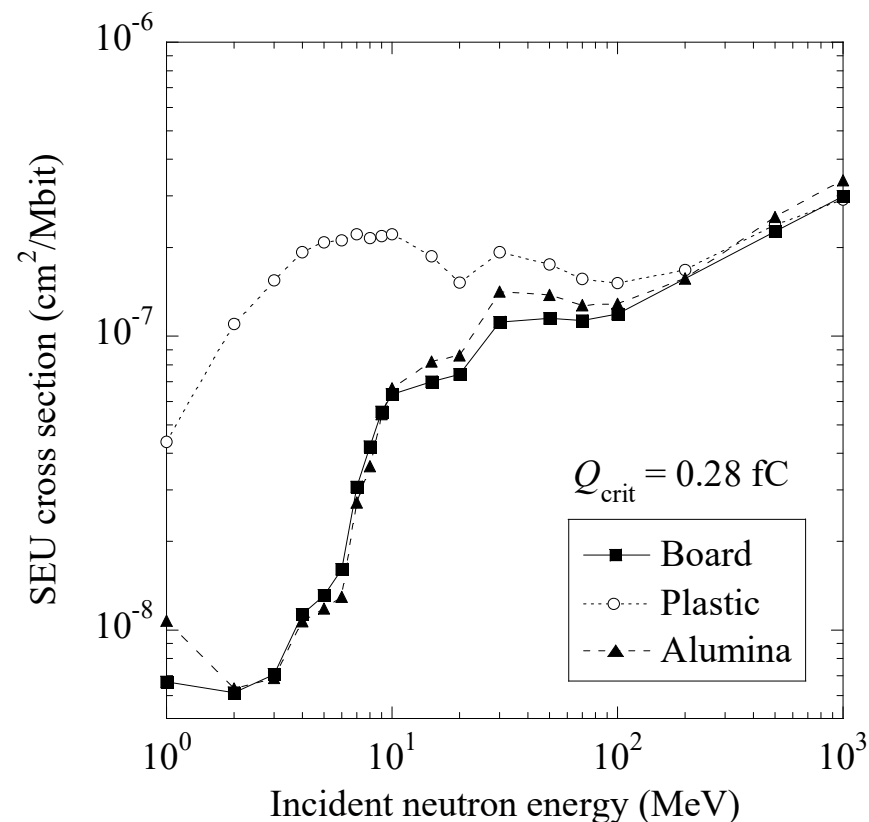
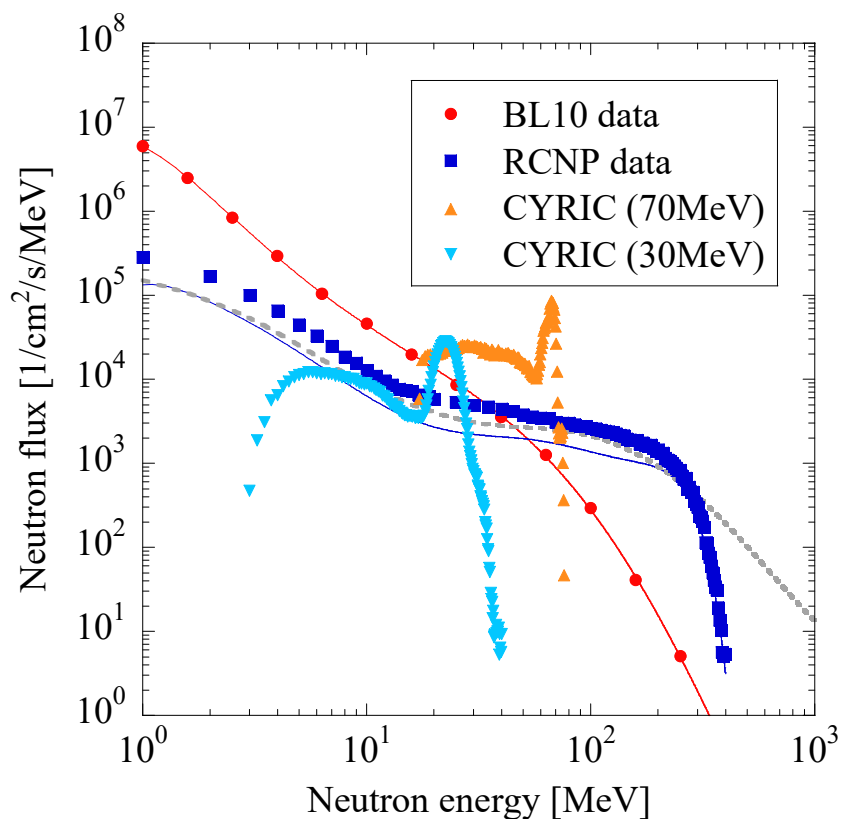
実験状況

65nm SRAMチップに照射

- 大阪大学RCNP 白色ビーム
- 東北大学CYRIC 準単色ビーム
- J-PARC BL10 低エネルギー成分が多いビーム
ポスターあり
(九大 黒田さん)
- 産総研 単色低エネルギー源 (2019/4予定)



各施設のSER予測値 (速報)



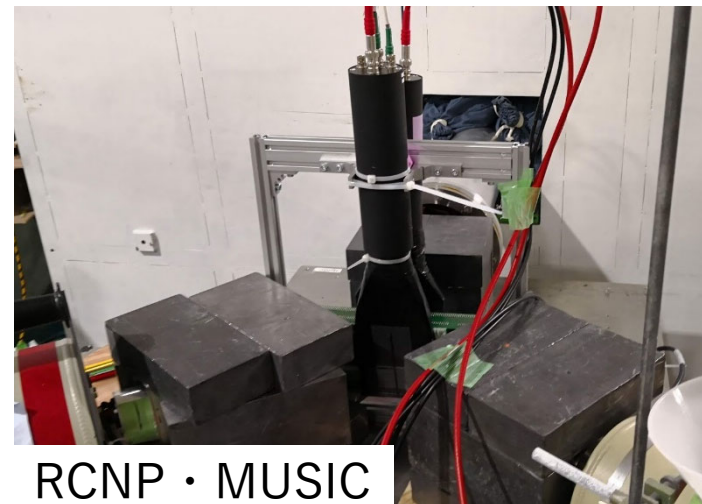
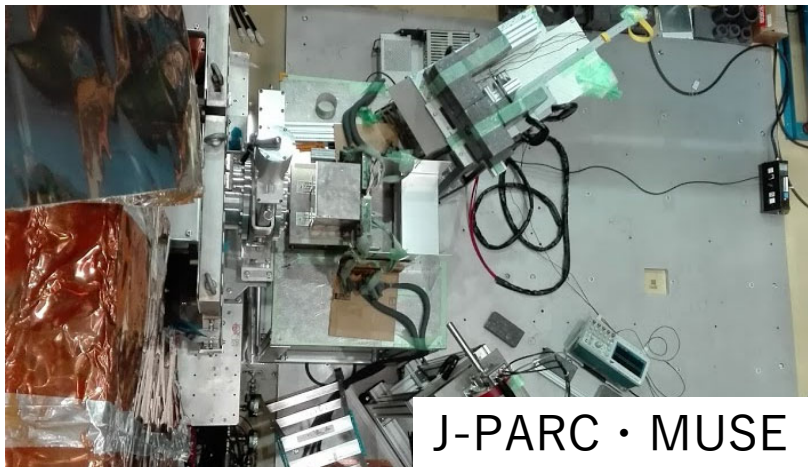
SER [1/sec/Mbit]	BL10		RCNP		CYRIC 準70MeV		CYRIC 準30MeV	
封止剤側(Plastic)		1.034	0.205	0.221	0.211	0.238	0.058	0.049
基板側(Board)		0.137		0.090	0.158	0.152	0.044	0.019

赤字: 実験値 黒字: シミュレーション値

目標3: ミューオンソフトウェア評価

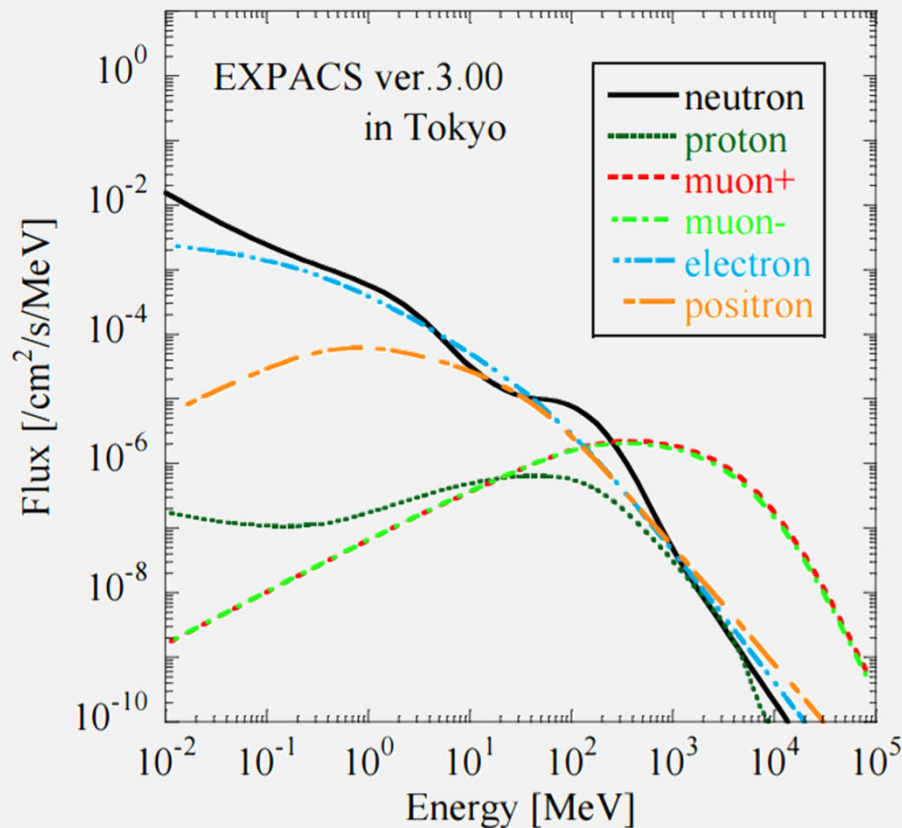
測定・シミュレーション技術確立 地上環境での影響を明らかに

- J-PARC・MUSE, RCNP・MUSICを用いたSRAM SEU断面積の実測 ポスターあり (九大 真鍋さん)
- 負ミューオンの素過程反応データの取得とモデル化
- シミュレーションによるSEU断面積の再現
- 地上・地下におけるSER推定
 - 筐体や建物を含む環境を考慮

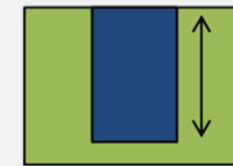


ミューオンとソフトエラー

ミューオンは地上の二次粒子の70%を占める



EXPACS: T. Sato et al., EXPACS, Radia. Res., 166, 544-555, 2006



有感領域深さ
0.5 μm

エネルギー	dE/dx	付与電荷
1GeV	0.47keV/ μm	0.02fC
40KeV	73keV/ μm	1.80fC

**先端デバイスでエラーを
起こす可能性**

ミュオンソフトエラーの既存研究

正ミュオン:

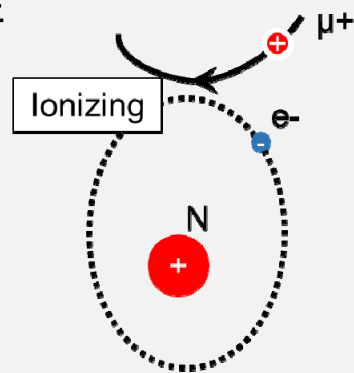
実験 [1-4]

14nm, 22nm, etc.

シミュレーション [2,4]

電荷生成

直接電離



負ミュオン:

実験 [5]

1980年台のみ

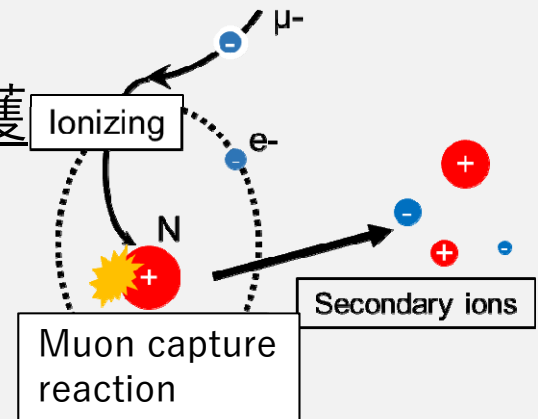
シミュレーション [2,4]

電荷生成

直接電離

ミュオン捕獲

二次イオン発生

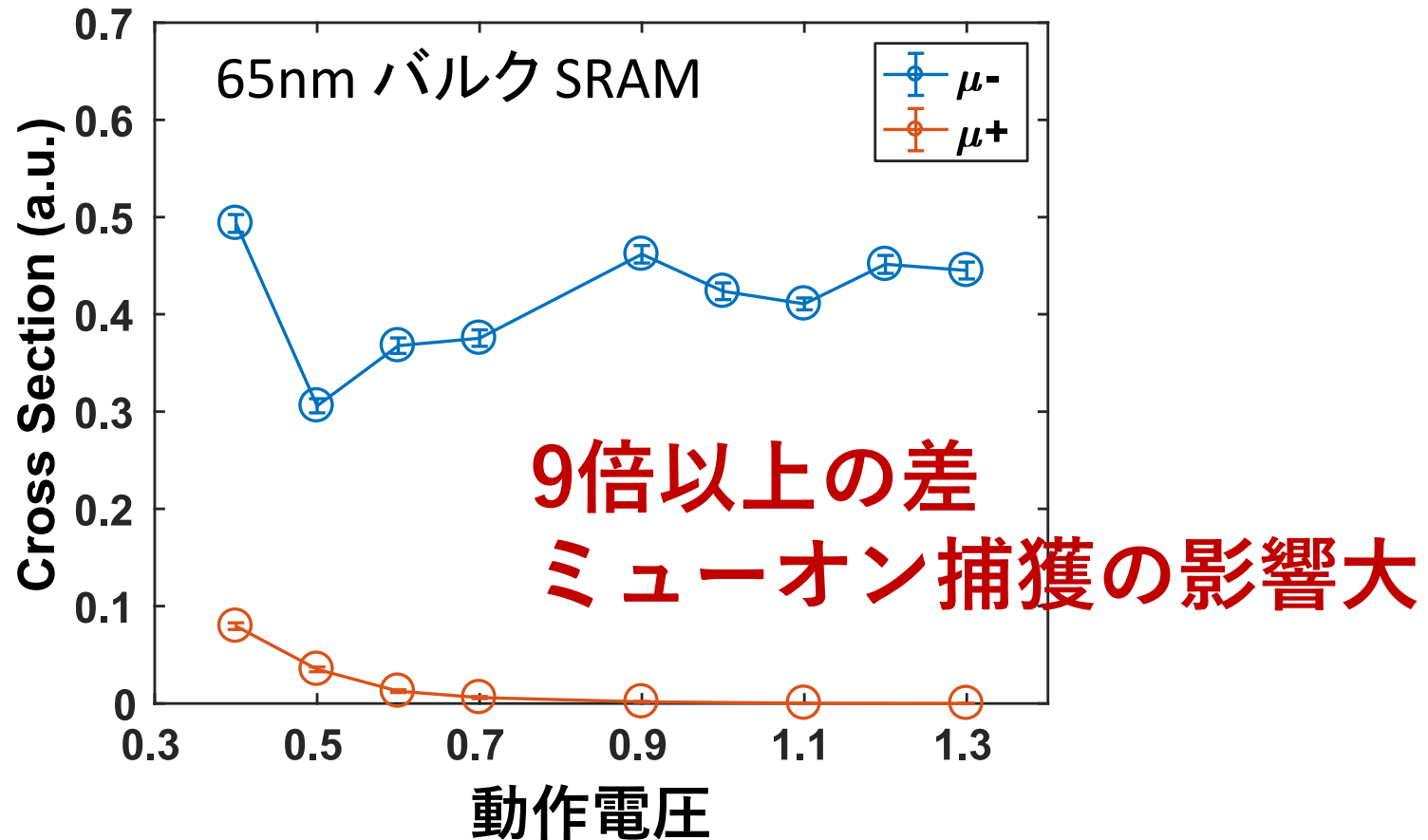


ミュオン捕獲による実験が未実施

[1],[2]: Sierawski et al., TNS, 2010 & IRPS, 2014,

[3]: Seifert: IRPS, 2015 [4]: S. Serre, RADECS, 2012 [5]: J. Dicello, Nucl. Inst. MPR, 1987

正・負ミューオンの比較 @ J-PARC MUSE



W. Liao, et al., "Measurement and Mechanism Investigation of Negative and Positive Muon Induced Upsets in 65nm Bulk SRAMs," IEEE Trans. Nuclear Science, Aug. 2018.

S. Manabe, et al., "Negative and Positive Muon-Induced Single Event Upsets in 65-nm UTBB SOI SRAMs," IEEE Trans. Nuclear Science, Aug. 2018. **RADECS 2017 Best Paper Award**

共同プレスリリース: 九大, 阪大, KEK, J-PARC, 原研

宇宙線「ミュオン」の影響確認

電子機器誤作動対策に道

九大など

九州大学と大阪大学などの影響を評価する。日本原子力研究開発機構などの研究チームは、宇宙線「ミュオン」が電子機器の誤作動を引き起こす原因の一つとしてソフトエラーと呼ばれる現象が注目されています。ソフトエラーとは一過性の誤作動や故障のことです。その要因の一つは宇宙線が電子機器に衝突して生じる半導体デバイスのビット情報反転です。宇宙線は地上に降り注ぐ自然の放射線で、この正体は目に見えない中性子やミュオンです。半導体デバイスの微細化・低消費電力化が進むにつれ、放射線耐性は低下しており、従来懸念されてきた宇宙線中性子ばかりでなく、宇宙線ミュオンによるソフトエラー発生の可能性も指摘されています。

九州大学大学院総合理工学研究院の渡辺幸信教授と大学院総合理工学府博士後期課程1年の真鍋征也、大阪大学大学院情報科学研究科の橋本昌宜教授と同博士後期課程3年の廖望ほか、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所、J-PARCセンター、日本原子力研究開発機構(JAEA)原子力基礎工学研究センターの11名からなる共同研究チームは、J-PARC物質・生命科学実験施設 (MLF) 内のミュオン実験装置MUSEにて、半導体デバイスに対する正および負ミュオン照射

日刊工業新聞
2018/6/7

宇宙線ミュオンで電子機器に悪影響
ソフトエラーの発生原因の一つとして、宇宙線ミュオンが電子機器の誤作動を引き起こす原因の一つとしてソフトエラーと呼ばれる現象が注目されています。

九州大学と大阪大学などの影響を評価する。日本原子力研究開発機構などの研究チームは、宇宙線「ミュオン」が電子機器の誤作動を引き起こす原因の一つとしてソフトエラーと呼ばれる現象が注目されています。ソフトエラーとは一過性の誤作動や故障のことです。その要因の一つは宇宙線が電子機器に衝突して生じる半導体デバイスのビット情報反転です。宇宙線は地上に降り注ぐ自然の放射線で、この正体は目に見えない中性子やミュオンです。半導体デバイスの微細化・低消費電力化が進むにつれ、放射線耐性は低下しており、従来懸念されてきた宇宙線中性子ばかりでなく、宇宙線ミュオンによるソフトエラー発生の可能性も指摘されています。

九州大学大学院総合理工学研究院の渡辺幸信教授と大学院総合理工学府博士後期課程1年の真鍋征也、大阪大学大学院情報科学研究科の橋本昌宜教授と同博士後期課程3年の廖望ほか、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所、J-PARCセンター、日本原子力研究開発機構(JAEA)原子力基礎工学研究センターの11名からなる共同研究チームは、J-PARC物質・生命科学実験施設 (MLF) 内のミュオン実験装置MUSEにて、半導体デバイスに対する正および負ミュオン照射

科学新聞
2018/6/8

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

Research at Osaka University
ResOU リソウ

研究で世界をハッピーに

研究情報 特集記事 日付ごとに見る 研究組織ごとに見る

ホーム / 研究情報 / 2018 / 「宇宙線ミュオン」が電子機器の誤作動を引き起こす

「宇宙線ミュオン」が電子機器の誤作動を引き起こす
超スマート社会の安全・安心を支える
ソフトエラー評価技術の開発に向けて

2018年5月29日

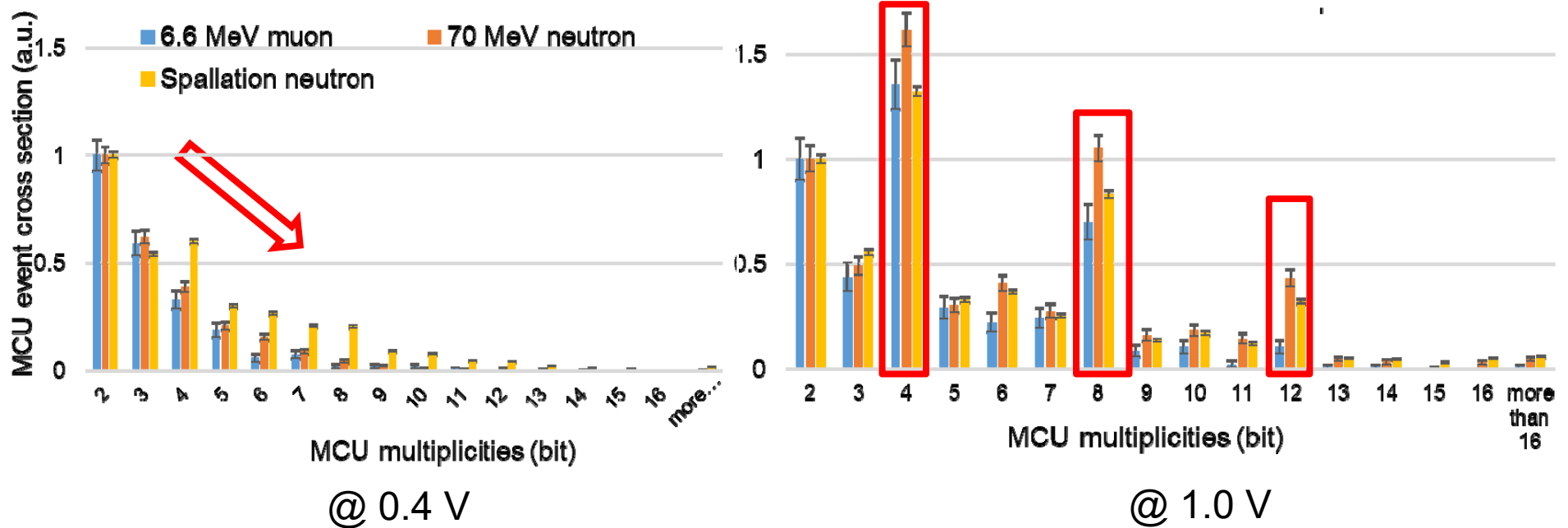
概要

スマートフォンやパソコンだけでなく、冷蔵庫などの家電に至るまでコンピューターが搭載されるようになり、電子機器は私たちの生活には欠かせないものとなりました。しかし、最近では、これら電子機器の誤作動を引き起こす原因の一つとしてソフトエラー^{※1}と呼ばれる現象が注目されています。ソフトエラーとは一過性の誤作動や故障のことです。その要因の一つは宇宙線^{※2}が電子機器に衝突して生じる半導体デバイスのビット情報反転^{※3}です。宇宙線は地上に降り注ぐ自然の放射線で、この正体は目に見えない中性子やミュオン^{※4}です。半導体デバイスの微細化・低消費電力化が進むにつれ、放射線耐性は低下しており、従来懸念されてきた宇宙線中性子ばかりでなく、宇宙線ミュオンによるソフトエラー発生の可能性も指摘されています。

九州大学大学院総合理工学研究院の渡辺幸信教授と大学院総合理工学府博士後期課程1年の真鍋征也、大阪大学大学院情報科学研究科の橋本昌宜教授と同博士後期課程3年の廖望ほか、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所、J-PARCセンター、日本原子力研究開発機構(JAEA)原子力基礎工学研究センターの11名からなる共同研究チームは、J-PARC物質・生命科学実験施設 (MLF) 内のミュオン実験装置MUSEにて、半導体デバイスに対する正および負ミュオン照射

負ミューオンによる複数ビット反転

- 負ミューオンは中性子と同様に複数ビット反転を起こす
- エラー訂正符号を利用してても脅威



W. Liao, et al., "Similarity Analysis on Neutron- and Negative Moun-Induced MCUs in 65-nm Bulk SRAM," RADECS, 2018.

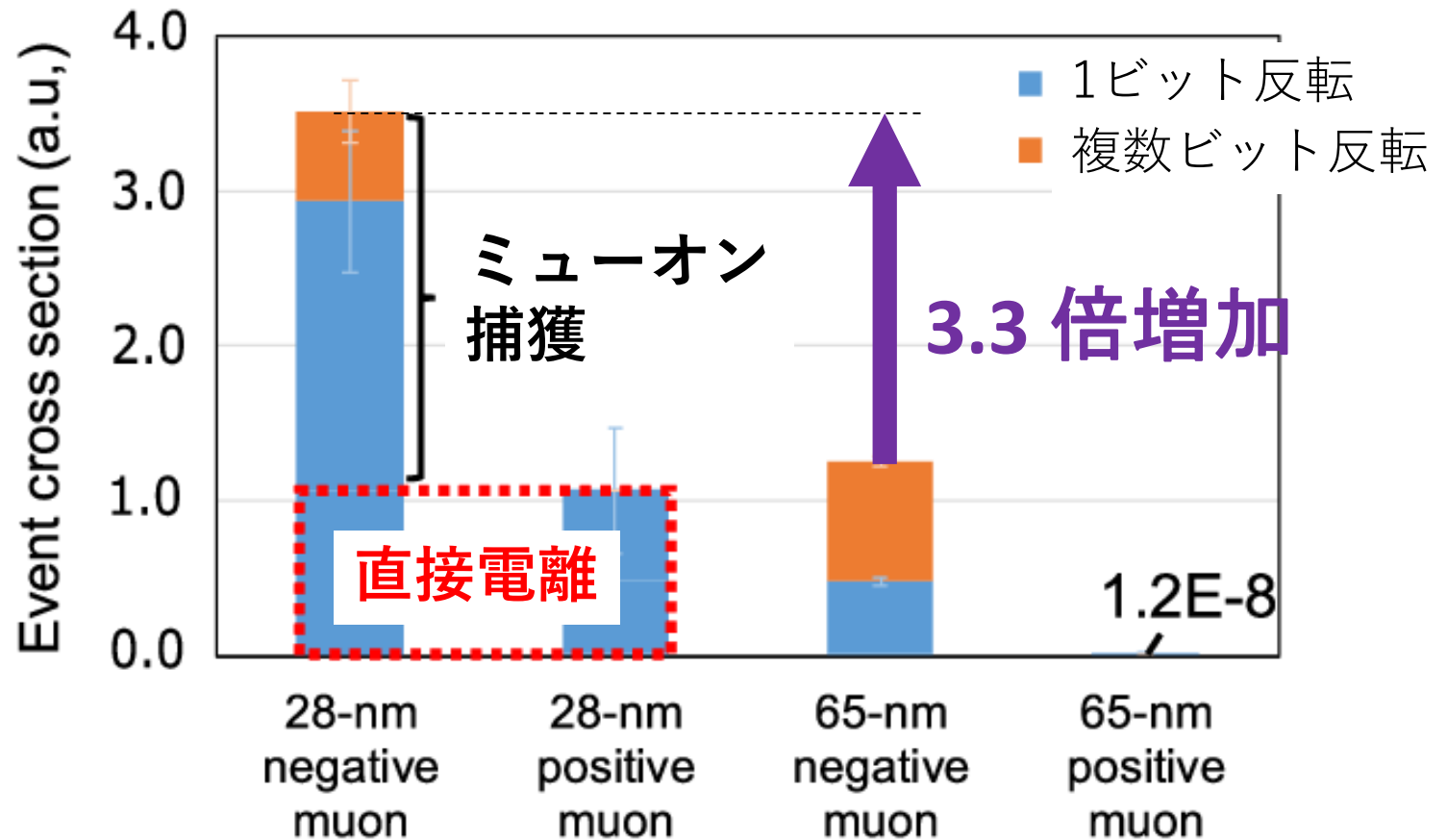
微細化とエラートレンド

65-nm: 0.9 V @ 6.62 MeV muon
28-nm: 0.6 V @ 2.07 MeV muon

28nmでは
直接電離
による
エラーが
顕在化

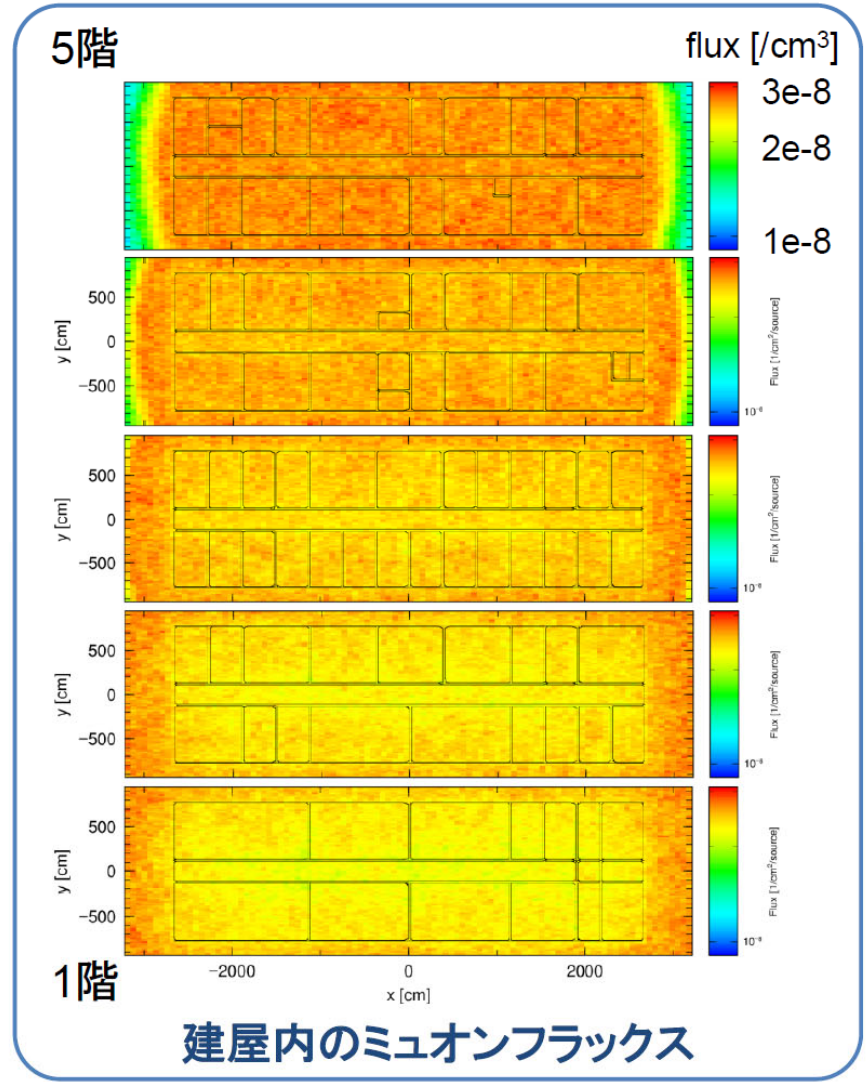
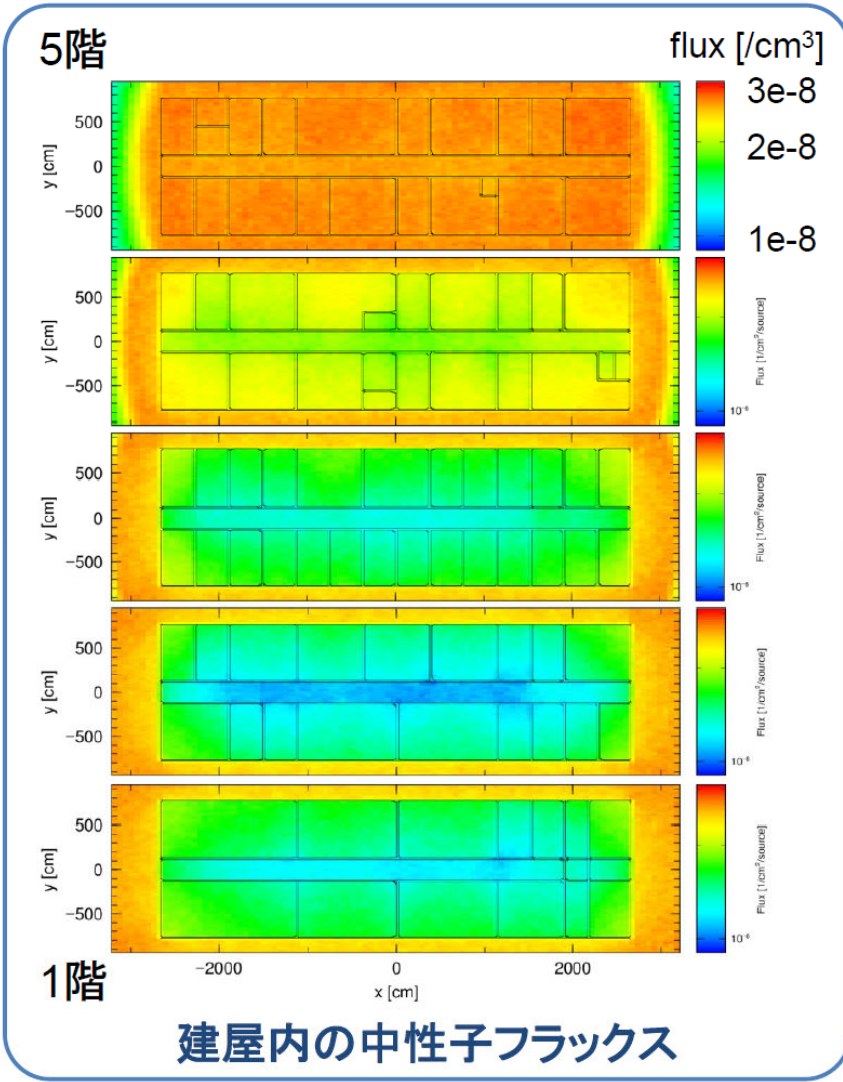
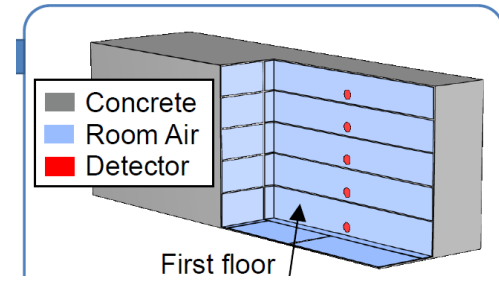


今後さらに
増加する
可能性



W. Liao, et al., "Negative and Positive Muon-Induced SEU Cross Sections in 28-nm and 65-nm Planar Bulk CMOS SRAMs," IRPS, 2019.

建物内部の中性子と ミュオン



参画機関

- 大阪大学
- 東北大学
- 名古屋大学
- J-PARCセンター
- 九州大学
- 京都工芸繊維大学
- 日本原子力研究開発機構
- 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所
- ソシオネクスト
- 日立製作所
- 富士電機
- HIREC
- 三菱電機
- 日本システムウェア
- 東芝デバイス&ストレージ
- パナソニックデバイスシステムテクノ

まとめ

- 半導体の信頼性が我々の安全安心に直結
 - 中性子に加えてミューオンの脅威も迫っている
- デバイスの高信頼化に向けたソフトエラー耐性評価技術の開発
 - 多様な中性子源を用いた評価環境構築
 - 評価方法の国際標準化
 - ミューオンエラー率評価技術の確立
- システムレベルの評価へ展開をはかる