



**OOKUMA  
DIAMOND  
DEVICE**

# ダイヤモンド半導体が切り拓く 極限環境の未来



# 極限環境とダイヤモンド半導体

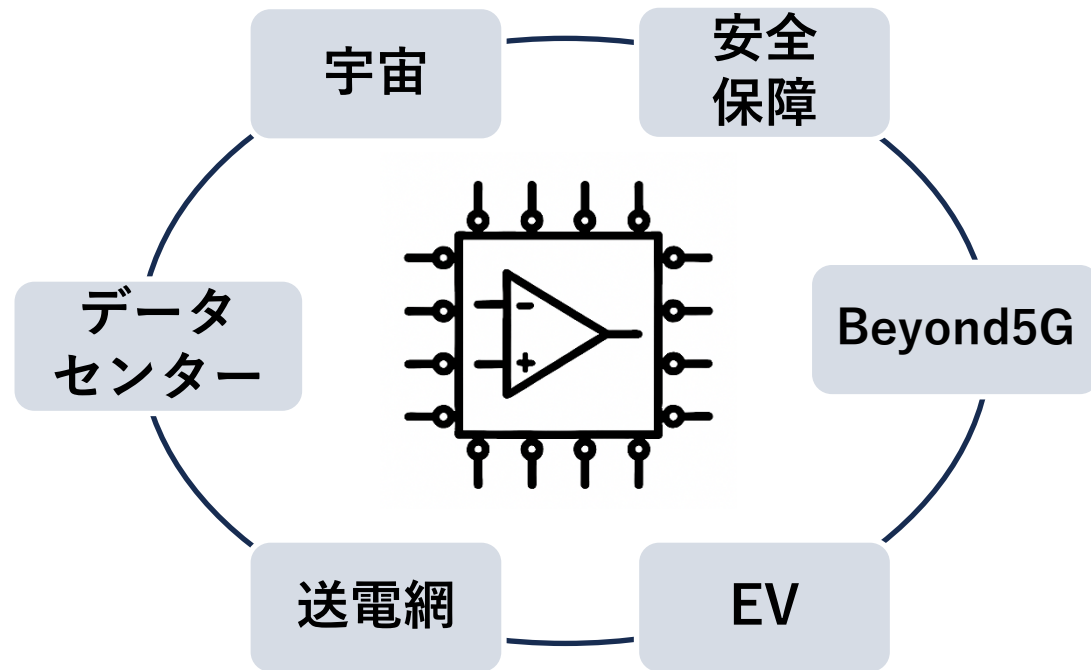




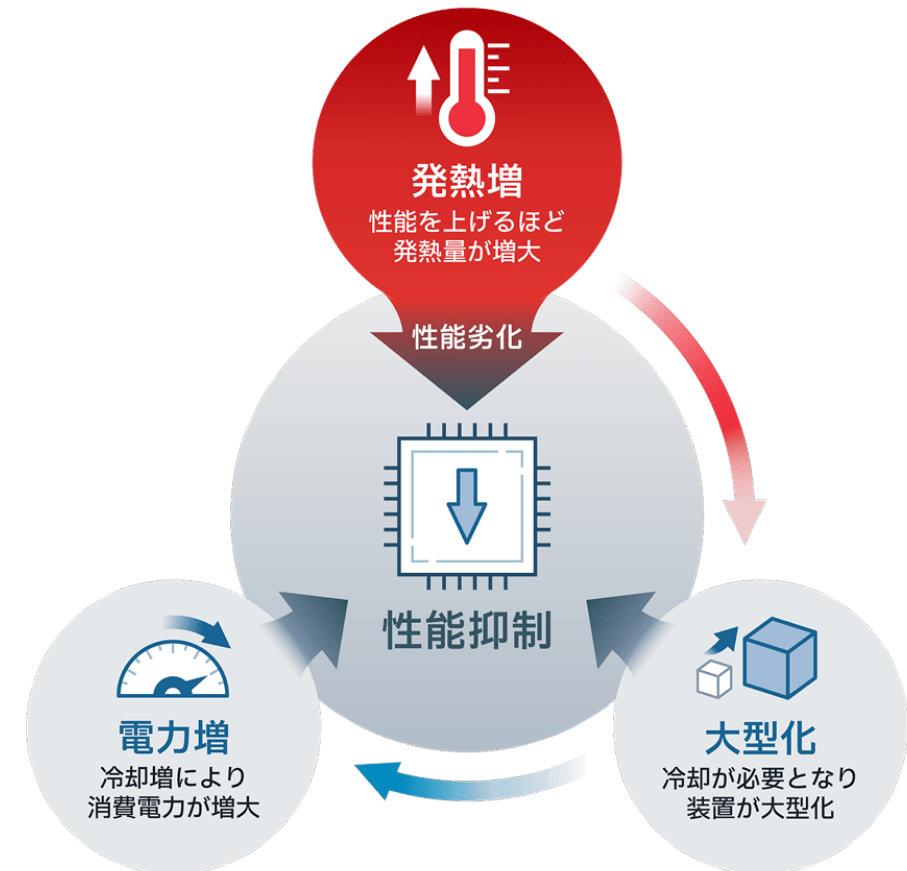
# 次世代産業を支えるアナログ半導体は、物性限界に近付いている

性能を上げるほど、熱/電力/サイズの三重苦により、結果的に性能が抑制されるジレンマ

アナログ半導体の更なる性能向上が必要な市場例



既存アナログ半導体の構造的課題



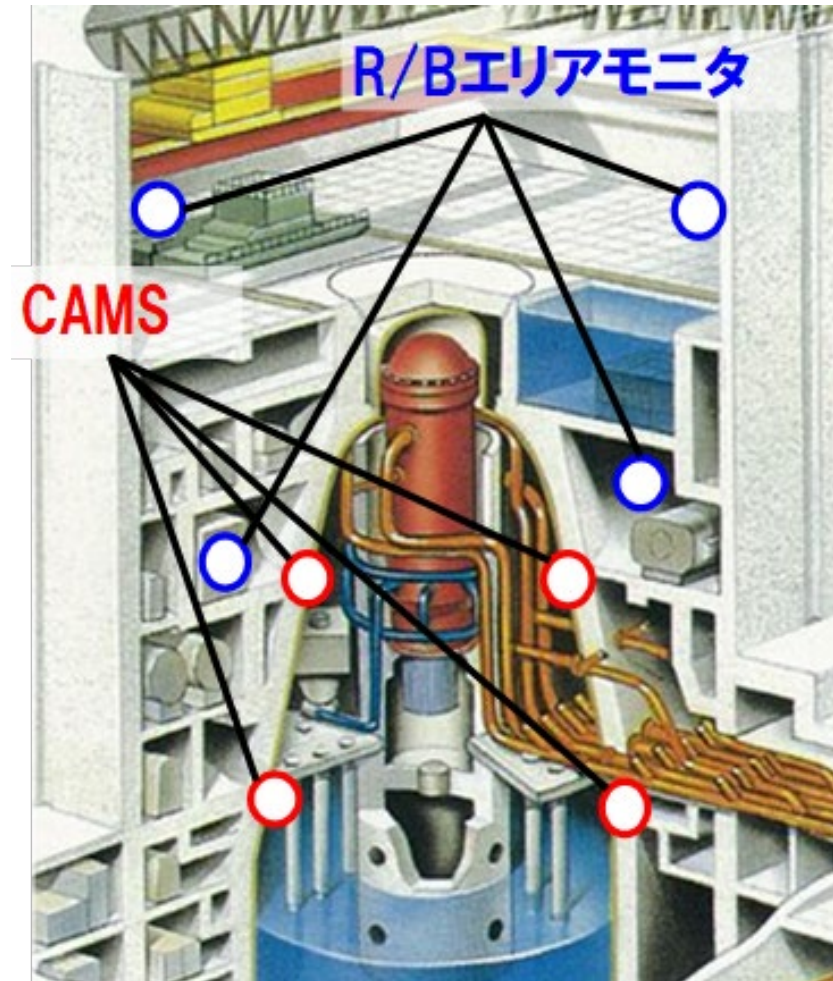


## 具体例)原子炉過酷事故を想定した環境

動作温度  
300 °C

積算線量  
5 MGy

原子炉格納容器雰囲気モニタ(CAMS)に対して  
将来の過酷事故で想定される動作環境<sup>[1]</sup>

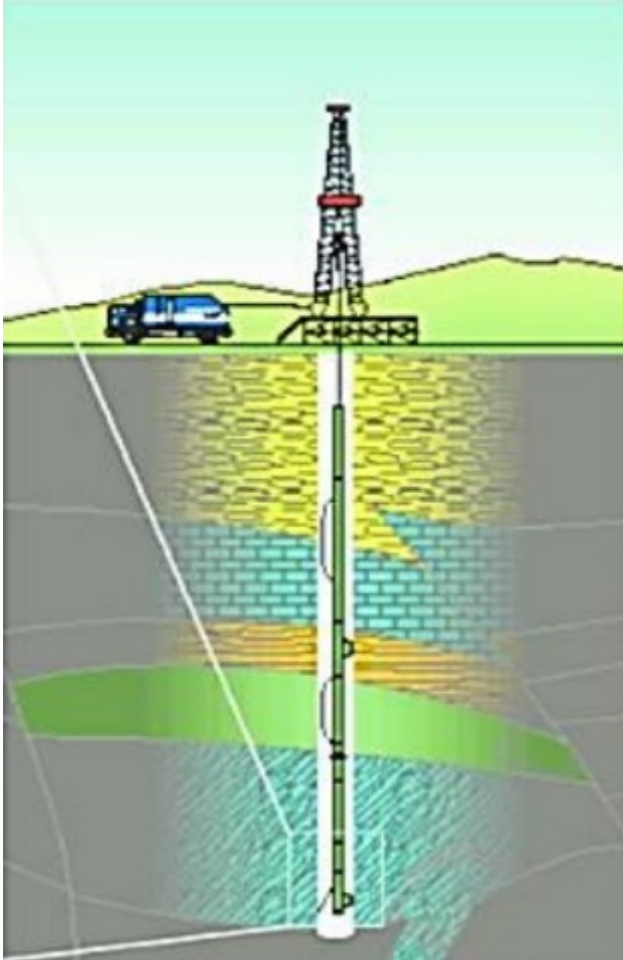


沸騰水型原子炉の断面鳥瞰図<sup>[2]</sup>





## 具体例) 過酷環境での動作性が特に重要視される分野



石油探査模式図

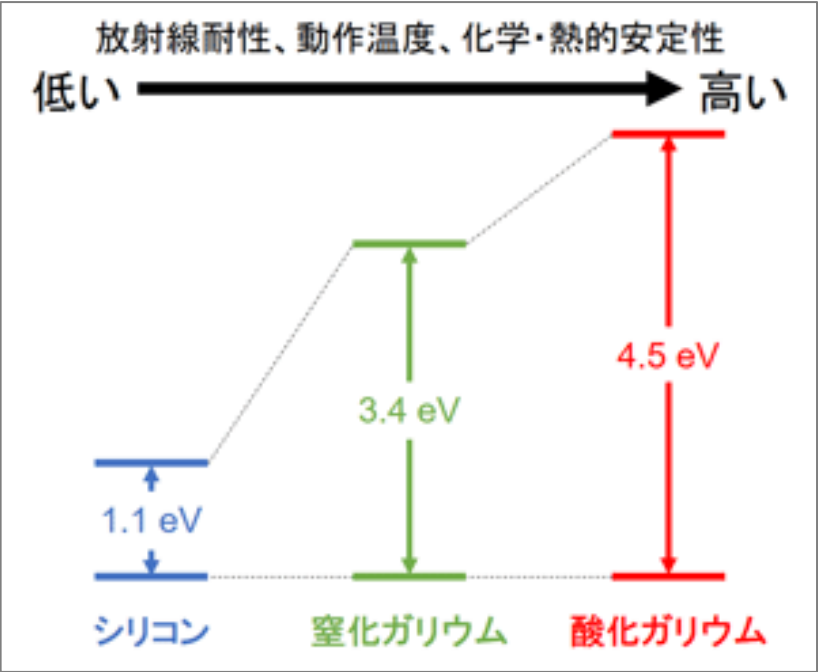


宇宙環境用半導体デバイス



# 過酷環境用デバイスにはワイドバンドギャップ半導体への期待が大きい

各種半導体材料の物性値



	単位	Si	SiC	GaN	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Diamond
バンドギャップ	eV	1.1	3.3	3.4	4.8	5.5
絶縁破壊電界強度	MV/cm	0.3	2.5	3.3	8.0	10
熱伝導度	W/cmK	1.5	4.9	2.0	0.3	20
電子移動度	cm <sup>2</sup> /Vs	1400	1000	900	300	2200
実用化	-	大量生産	量産開始	少量生産	研究段階	研究段階

究極の半導体「ダイヤモンド」に大きな期待

半導体の材料的安定性イメージ

Source : Nihon IR、【パワー半導体の基礎】ワイドバンドギャップ半導体の特徴/メリット/課題、[https://engineer-education.com/wide-gap-semiconductor\\_basic/](https://engineer-education.com/wide-gap-semiconductor_basic/)、2026年1月4日最終アクセス  
NICT、極限環境で利用可能な無線通信向け酸化ガリウムトランジスタを開発、<https://www.nict.go.jp/press/2020/12/16-1.html>、2026年1月4日最終アクセス

ダイヤモンドとははSiと同じ14族元素である

IUPAC Periodic Table of the Elements

1 H hydrogen 1.008 [1.0076, 1.0082]																	18 He helium 4.0026		
3 Li lithium 6.94 [6.938, 6.997]	4 Be beryllium 9.0122													5 B boron 10.81 [10.806, 10.821]	6 C carbon 12.011 [12.009, 12.012]	7 N nitrogen 14.007 [14.006, 14.008]	8 O oxygen 15.999 [15.999, 16.000]	9 F fluorine 18.998	10 Ne neon 20.180
11 Na sodium 22.990	12 Mg magnesium 24.305 [24.304, 24.307]	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al aluminium 26.982	14 Si silicon 28.086 [28.084, 28.086]	15 P phosphorus 30.974	16 S sulfur 32.06 [32.059, 32.076]	17 Cl chlorine 35.45 [35.446, 35.457]	18 Ar argon 39.948		
19 K potassium 39.098	20 Ca calcium 40.078(4)	21 Sc scandium 44.956	22 Ti titanium 47.867	23 V vanadium 50.942	24 Cr chromium 51.996	25 Mn manganese 54.938	26 Fe iron 55.845(2)	27 Co cobalt 58.933	28 Ni nickel 58.693	29 Cu copper 63.546(3)	30 Zn zinc 65.38(2)	31 Ga gallium 69.723	32 Ge germanium 72.630(8)	33 As arsenic 74.922	34 Se selenium 78.971(8)	35 Br bromine 79.904 [79.901, 79.907]	36 Kr krypton 83.796(2)		
37 Rb rubidium 85.468	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.906	40 Zr zirconium 91.224(2)	41 Nb niobium 92.906	42 Mo molybdenum 95.95	43 Tc technetium 98.906	44 Ru ruthenium 101.07(2)	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60(3)	53 I iodine 126.90	54 Xe xenon 131.29		
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.49(2)	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23(3)	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.38 [204.38, 204.39]	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon		
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Nh nihonium	114 Fl flerovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganeson		



INTERNATIONAL UNION OF  
PURE AND APPLIED CHEMISTRY

57 <b>La</b> lanthanum 138.91	58 <b>Ce</b> cerium 140.12	59 <b>Pr</b> praseodymium 140.91	60 <b>Nd</b> neodymium 144.24	61 <b>Pm</b> promethium	62 <b>Sm</b> samarium 150.36(2)	63 <b>Eu</b> europium 151.96	64 <b>Gd</b> gadolinium 157.25(3)	65 <b>Tb</b> terbium 158.93	66 <b>Dy</b> dysprosium 162.50	67 <b>Ho</b> holmium 164.93	68 <b>Er</b> erbium 167.26	69 <b>Tm</b> thulium 168.93	70 <b>Yb</b> ytterbium 173.05	71 <b>Lu</b> lutetium 174.97
89 <b>Ac</b> actinium 232.04	90 <b>Th</b> thorium 232.04	91 <b>Pa</b> protactinium 231.04	92 <b>U</b> uranium 238.03	93 <b>Np</b> neptunium	94 <b>Pu</b> plutonium	95 <b>Am</b> americium	96 <b>Cm</b> curium	97 <b>Bk</b> berkelium	98 <b>Cf</b> californium	99 <b>Es</b> einsteinium	100 <b>Fm</b> fermium	101 <b>Md</b> mendelevium	102 <b>No</b> nobellium	103 <b>Lr</b> lawrencium

For notes and updates to this table, see [www.iupac.org](http://www.iupac.org). This version is dated 28 November 2016.  
Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

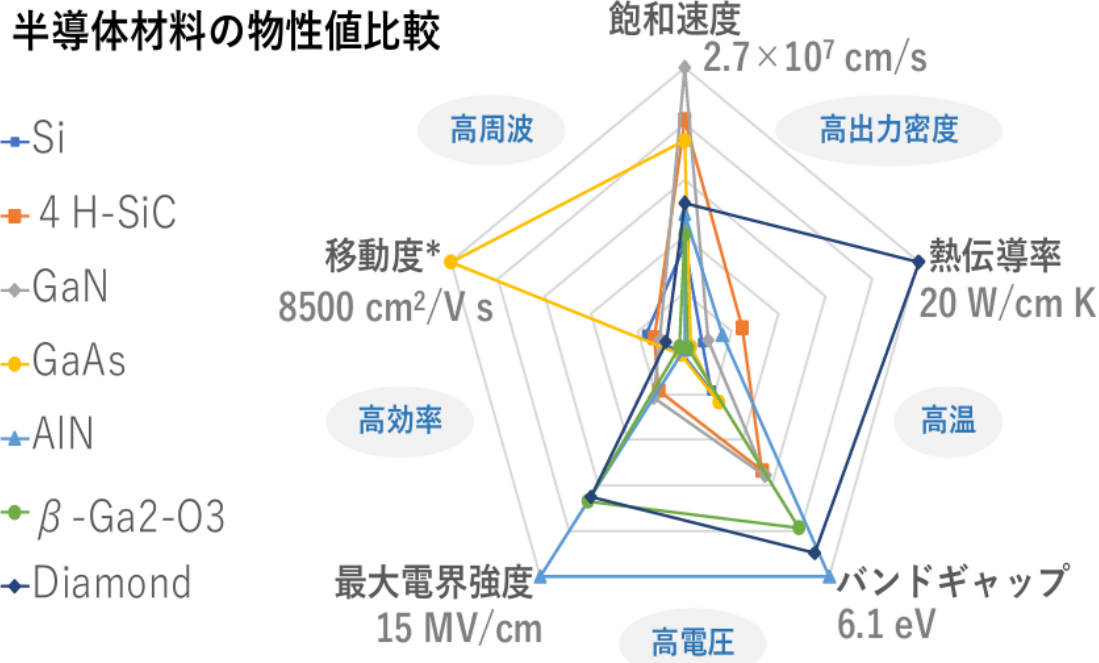




# 根本的な打開策は”半導体素材”の進化

ダイヤモンド半導体は、熱・電力・サイズの三重苦も乗り越え、更なる性能向上が可能

半導体材料の物性値比較



\*: 電子とホールの大きい方で比較

	GaN比	補足
出力特性	5倍	熱的限界を考慮した出力密度 ・ GaN : 10W/mm ・ Diamond : 50W/mm
高周波特性	1.6倍	テラヘルツ帯まで理論的には実現可能 (JFoMベース)
発熱抑制	66%減	PAE同条件の下、熱伝導率および界面熱抵抗から試算
高温耐性	2-3倍	・ GaN : 150°C ・ Diamond : 300~500°C
放射線耐性	5倍	TID ~10kGy
サイズ	80%減	PAE同条件の下、熱的限界と自己発熱影響を加味し試算



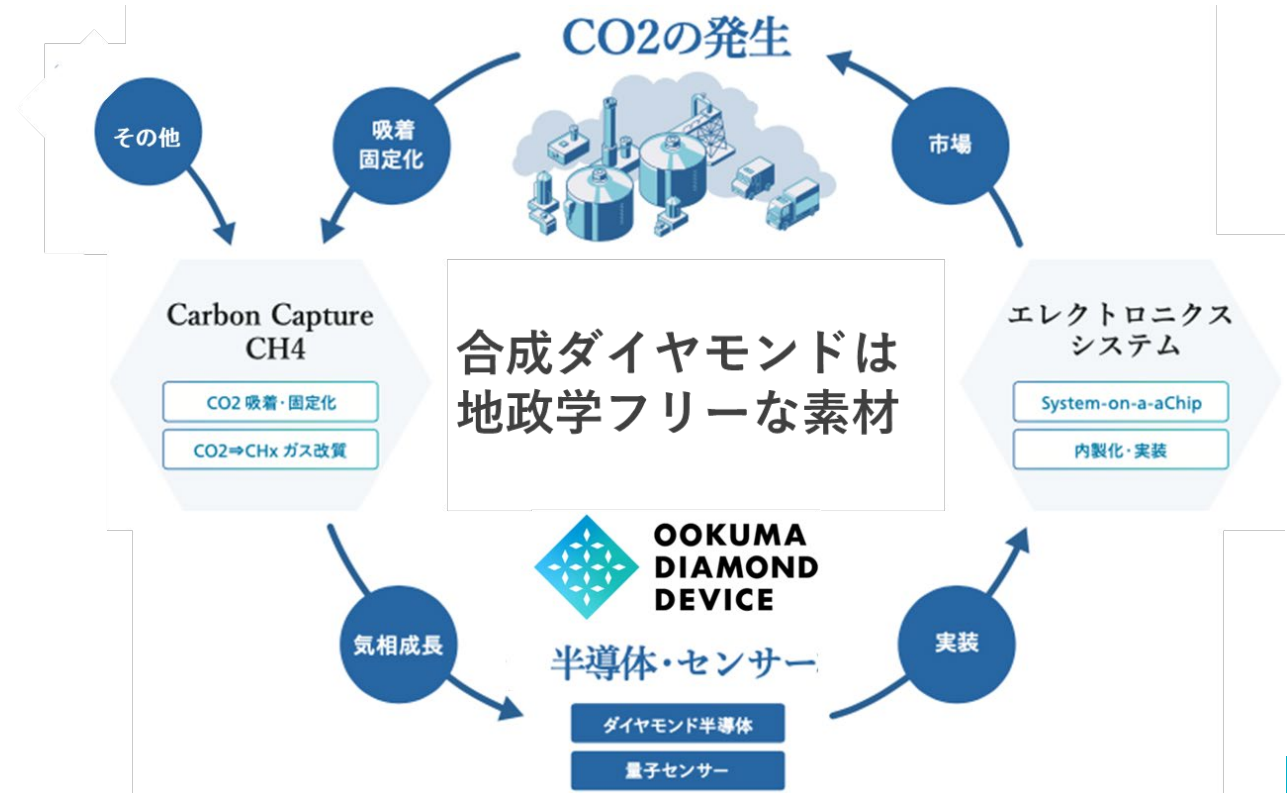
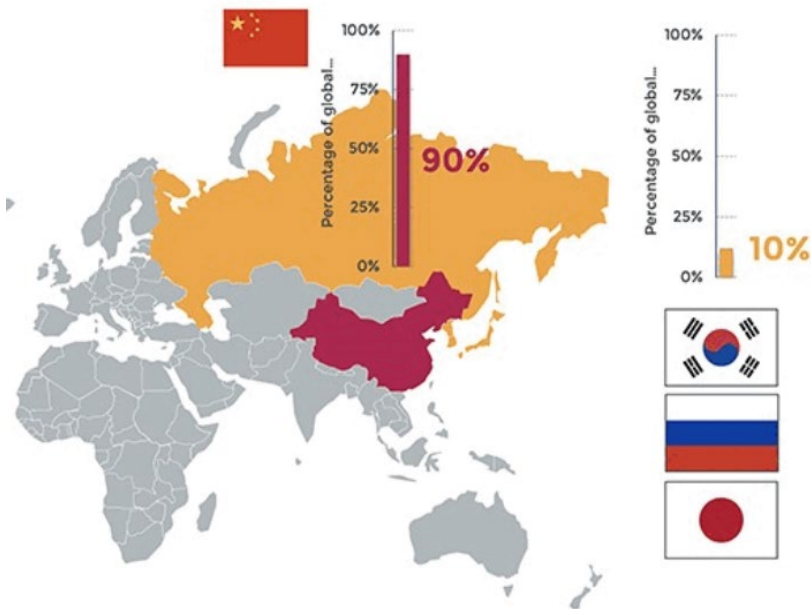
# ダイヤモンド半導体は、GaNと異なりサプライチェーンを特定国に依存しないため、純内製化も可能な、地政学的にも核心技術となり得る



- 次世代半導体として普及が進むGaNの原料であるガリウムは、90%以上が中国産出であり、中国政府による輸出規制対象となっている
- ダイヤモンド半導体は、その原料がメタンガスであり、世界中で製造が可能となる

Gallium global production as of 2023 – China dominates the global production of gallium raw materials

(Source: Status of the Compound Semiconductor Industry, Yole Intelligence, 2023 coming edition)



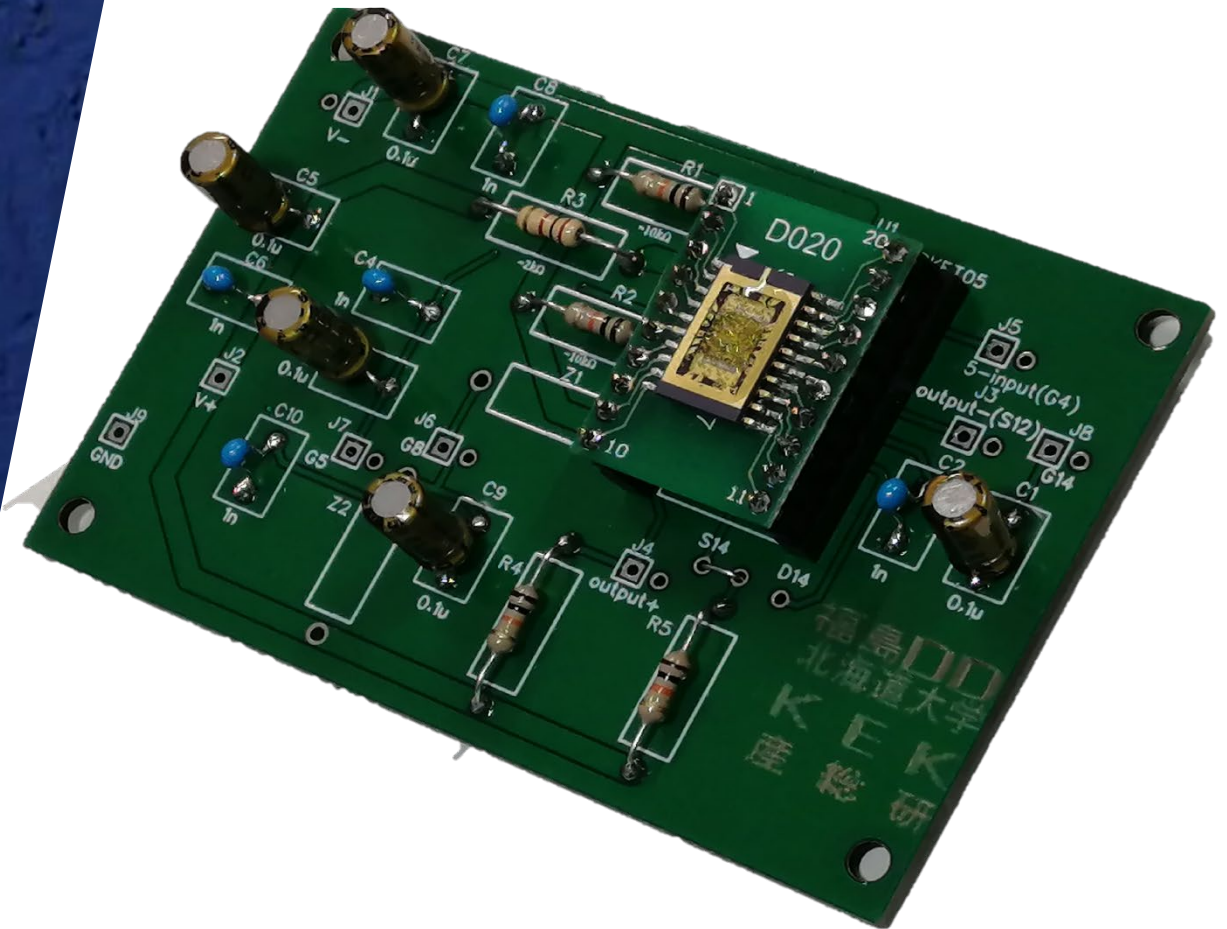
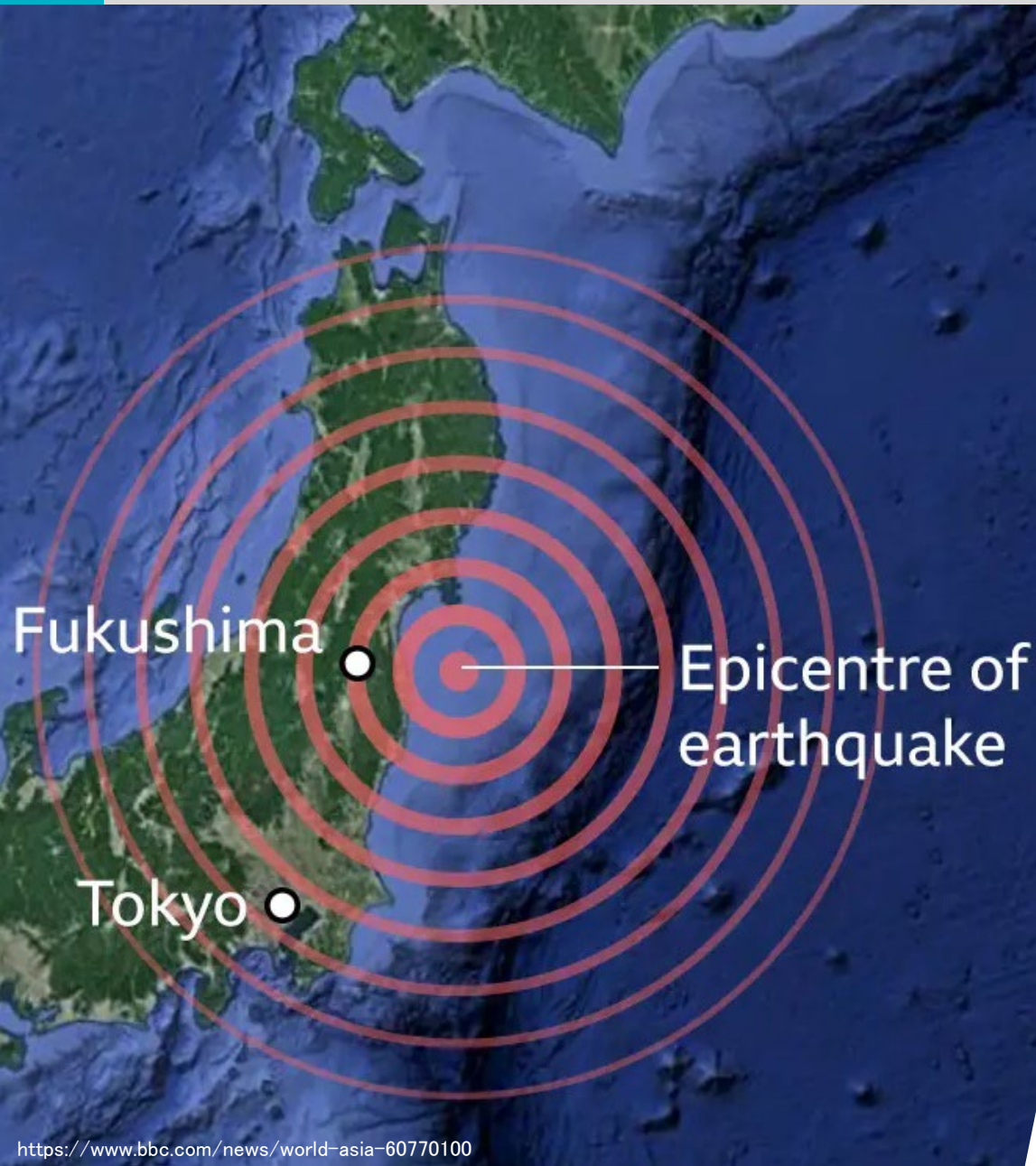


# 当社について





# 福島原発事故に立ち向かう為に生まれた「究極の半導体」



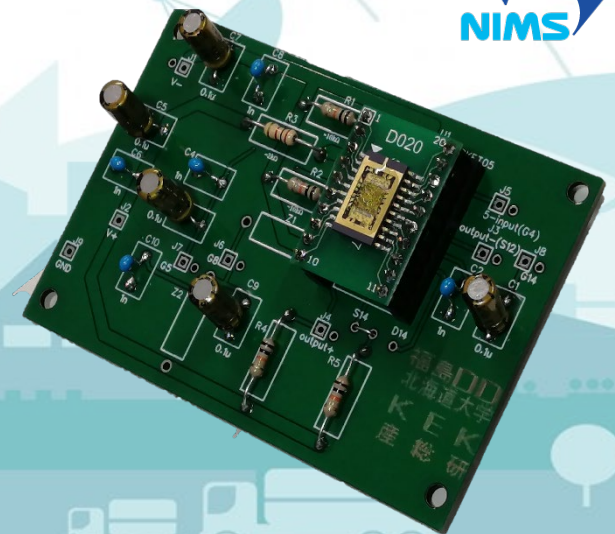
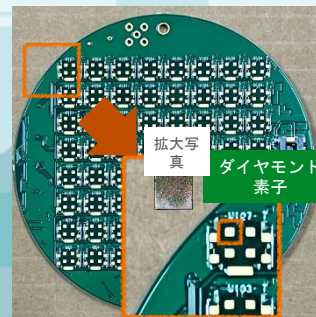
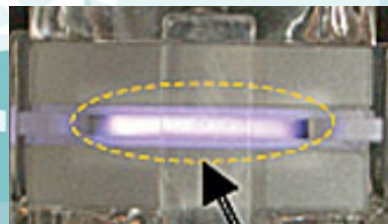
当時世界初となる、回路実装ベースでのダイヤモンド半導体  
(弊社創業1年前となる、2021年時点)





# 福島原発の廃炉に向け、ダイヤモンド半導体製品化に向けた国プロが立ち上げ

- ・ 廃炉という日本独自の国難が、ダイヤモンド半導体の世界初実需を産んだ
- ・ 国難の解決という正義の下に国立研究所の知見が集結、プロトタイプを作成
- ・ 量産、納品という民間が果たすべき役割を担うためベンチャーを設立



1982年：日本が世界初の気相合成法を成功

1990年～2010年  
試行錯誤の時代

2010年～2020年  
廃炉PJを通じ集結した国プロによる技術蓄積

2021年  
回路実装ベースでの動作確認





# 経営と技術の両輪が伴ったディープレックベンチャー



星川 尚久  
代表取締役

- 連続起業家（Exit経験あり）
- 取締役2名と共に、創業前から7年にわたり、ダイヤモンド半導体の研究開発マネジメントに従事

## 弊社顧問



上釜 健宏氏  
TDK(株)  
元 代表取締役社長・会長



金子 純一  
取締役

- 北海道大学 工学研究員 準教授
- JAEA グループリーダー
- 過酷環境下におけるダイヤモンド研究の第一人者



梅原 俊志氏  
日東電工(株)  
元 代表取締役専務執行役員



梅沢 仁  
取締役兼CTO

- 産業技術総合研究所 上級主任研究員
- ダイヤモンド半導体に関する論文引用総数は、24年時点で6,600件を超え、**ダイヤモンド半導体の世界的な権威**



前川 立行氏  
東芝電力放射線テクノサービス(株)  
元 常務取締役兼CTE



# 10年超のアドバンテージが生んだ、垂直統合での製品製造ノウハウ

- ・ 福島第一原発の廃炉がダイヤモンド半導体の世界初の実需となり、2012年から製品開発研究を実施
- ・ 世界で唯一、垂直統合によるダイヤモンド半導体の製造ノウハウを獲得







## 世界初となるダイヤモンド半導体工場を建設開始@福島県大熊町

- 垂直統合での製造ノウハウと福島での実需により、世界的にも現状当社しか取り組めない
- 福島第一原発の廃炉加速と共に、**世界唯一となる商用生産ノウハウを構築することで、  
更なる競争優位につながる**



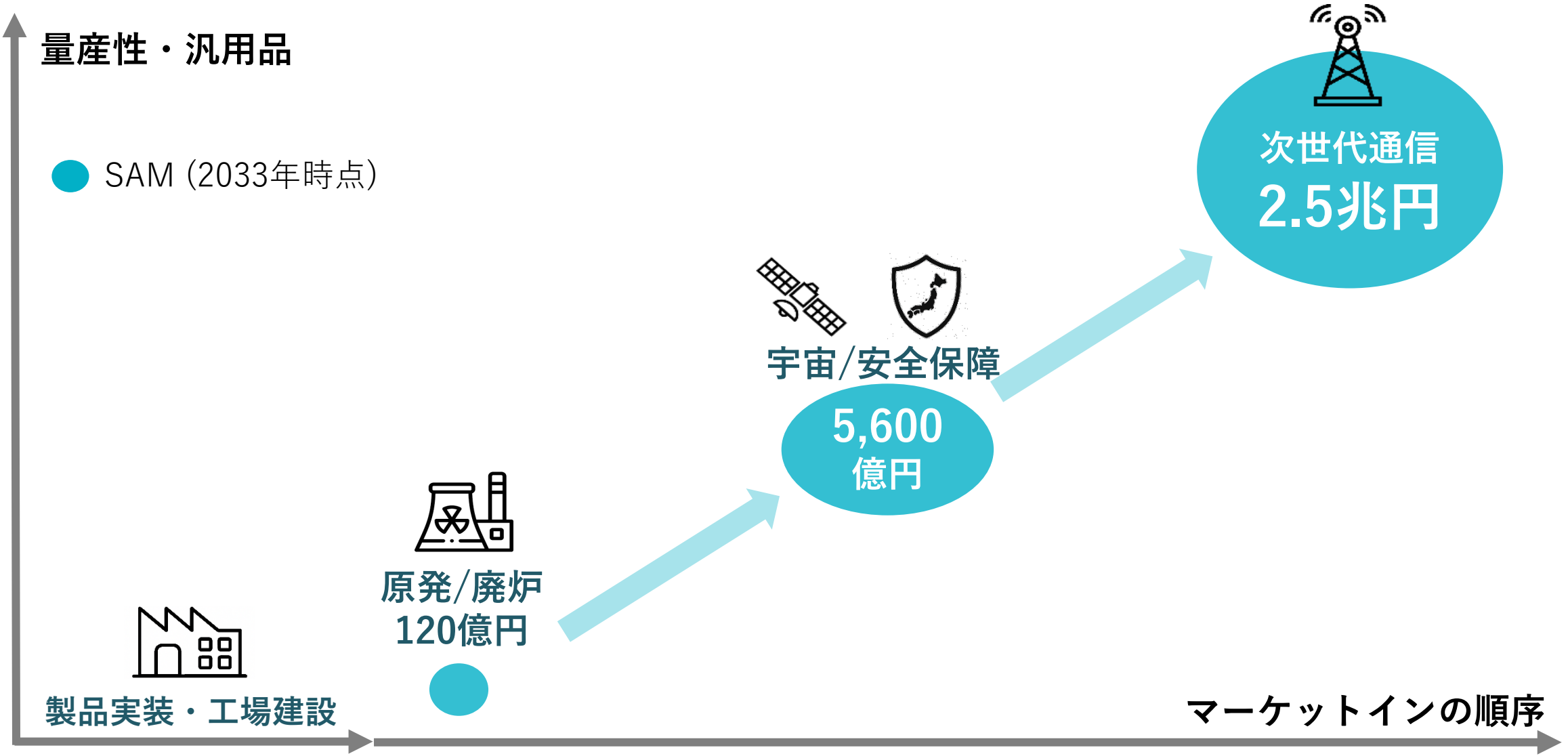
当社ダイヤモンド半導体工場の完成イメージ図



建設中の当社工場（2025/9/30時点）



# 高単価・少量の原発/廃炉から、より汎用品の大きな市場へ







# 官民双方からの高い評価により、創業3年で計74億円を調達(25年6月時点)

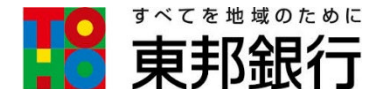
採択済の国家プロジェクト  
(創業以来、採択率100%を維持)

期間合計 **27.6**億円



民間からの調達実績 (融資含む)

計 **46.5**億円





# テレビ東京『日経スペシャル ブレイクスルー 不屈なる開拓者』にて単独取材



国際競争を勝ち抜ける？





# 石破総理との面談含め、福島での半導体新産業立ち上げに向けて奮闘



石破 内閣総理大臣と  
福島県福島市 菊池製作所  
おおざそう研究所にて  
(令和7年3月11日)



伊藤 復興大臣と  
福島県大熊町 当社施設にて  
(令和7年8月29日)



首相官邸HP：長島内閣総理大臣補佐官が  
防衛装備庁主催のインダストリーデーに際して  
弊社ブースをご来訪頂いたことを取り上げ  
(令和7年9月25日)

[https://www.kantei.go.jp/jp/pages/20250930\\_nagashima\\_hosakan\\_shisatsu\\_00002.html](https://www.kantei.go.jp/jp/pages/20250930_nagashima_hosakan_shisatsu_00002.html)



## 過酷環境向け開発技術例



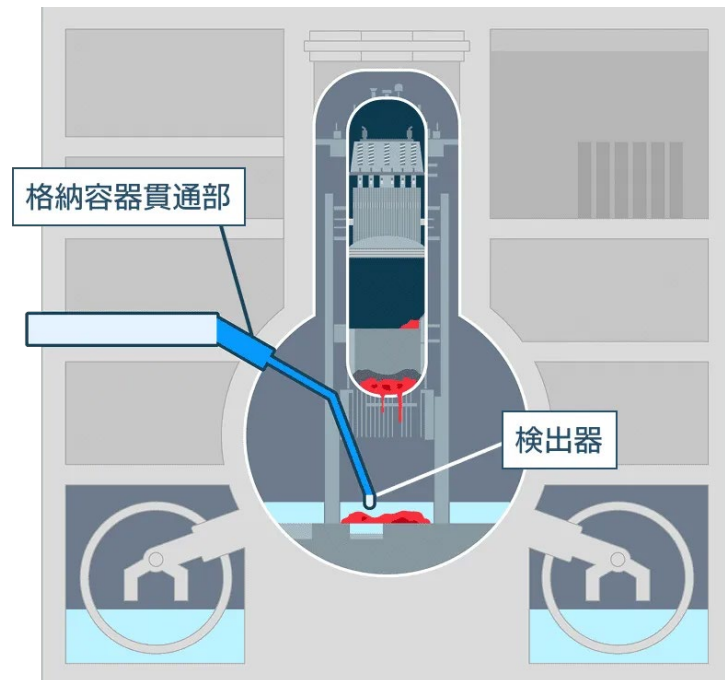


# 福島第一原発の廃炉実現には、ダイヤモンド検出器が必須技術となる

主課題：原子炉内に残る燃料デブリの取出し

再臨界を防ぐため中性子線を常時観測する必要；

1. 既存半導体デバイスでは、鉛等で遮蔽しない限り放射線による動作不良を起こす可能性がある
2. ロボットアームの先端にデバイスを取り付けるが遮蔽物の荷重に耐えきれない

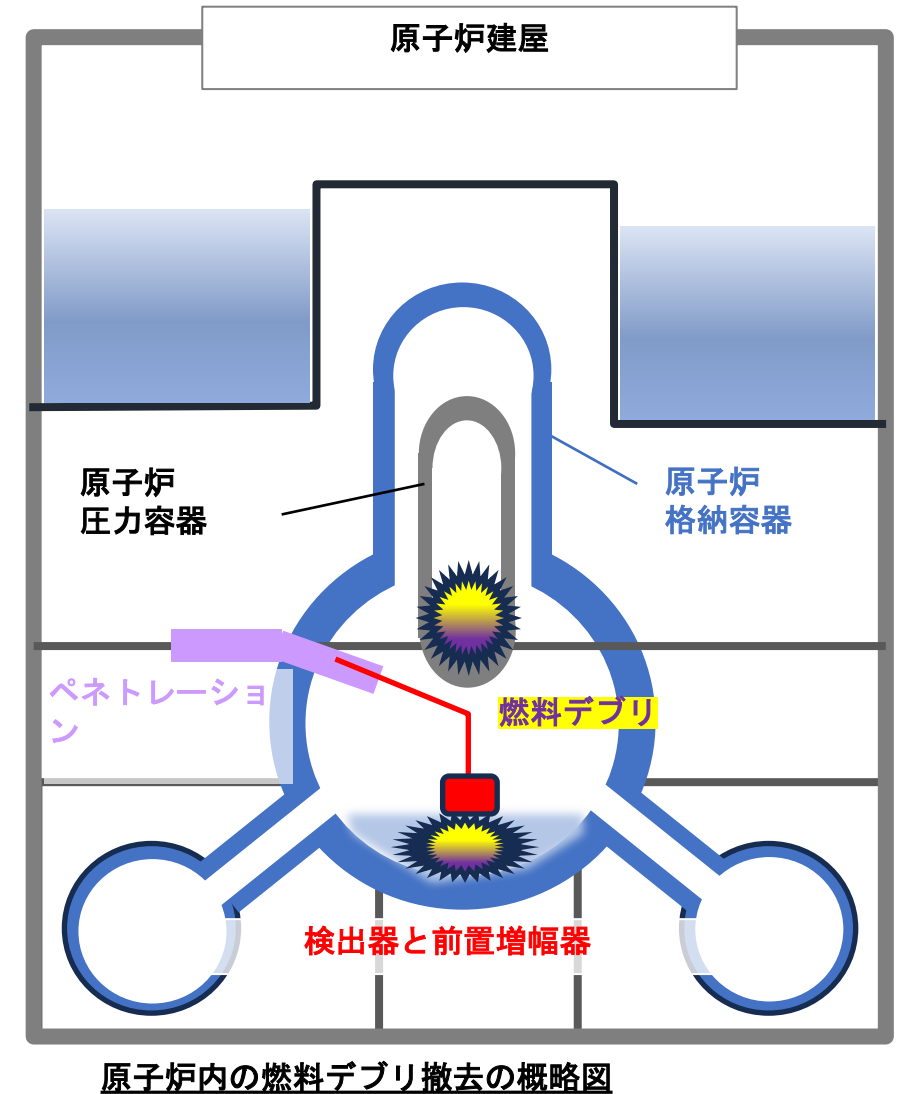
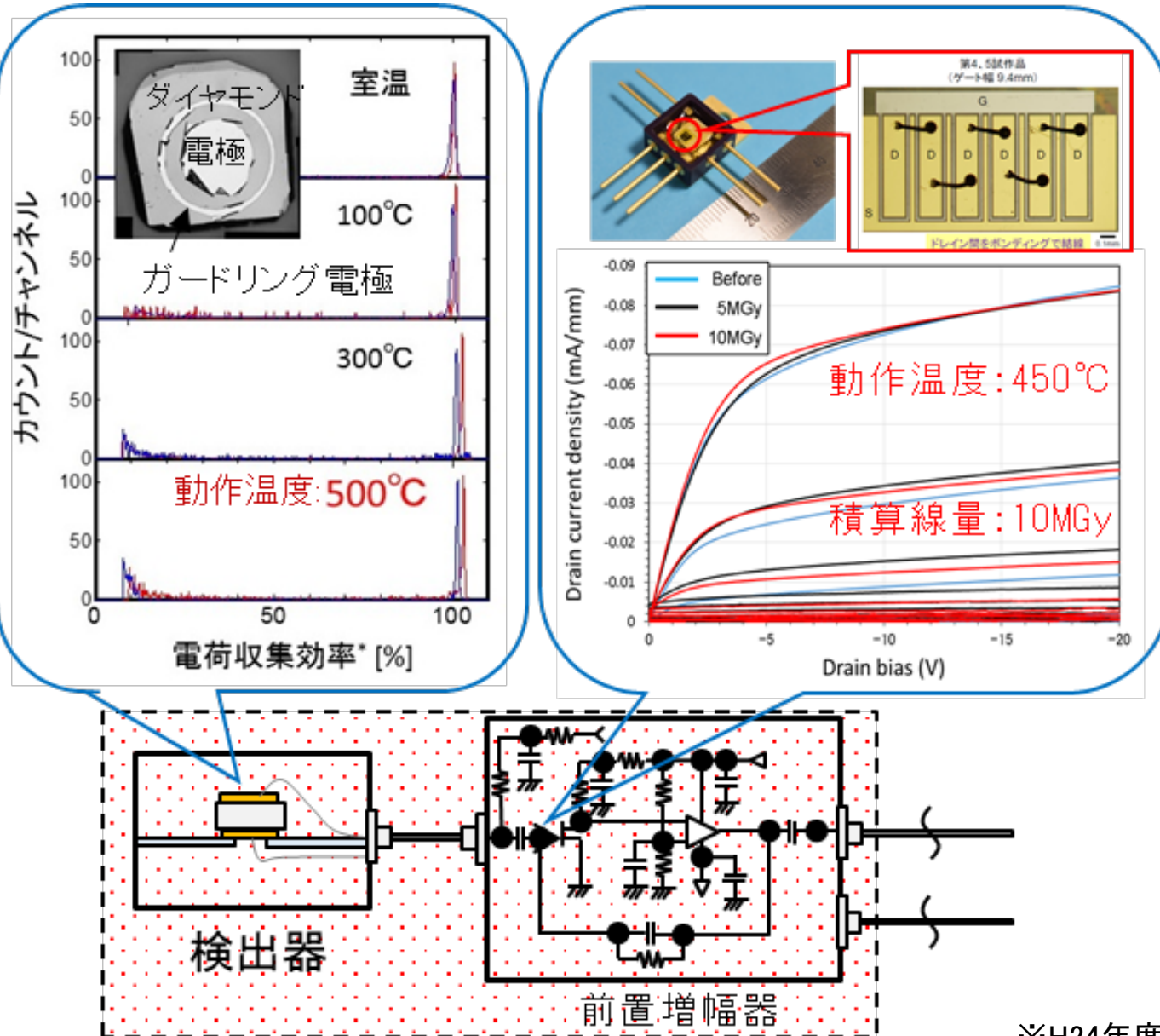


解決策としてのダイヤモンド検出器

- ダイヤモンド検出器は、数MGyの非常に高い積算線量にも耐えられる
- 遮蔽不要で精度高く、デブリ再臨界の常時観測が実現可能となり、安全なデブリ取り出しを推進することが出来る



# 廃炉における想定アプリケーション

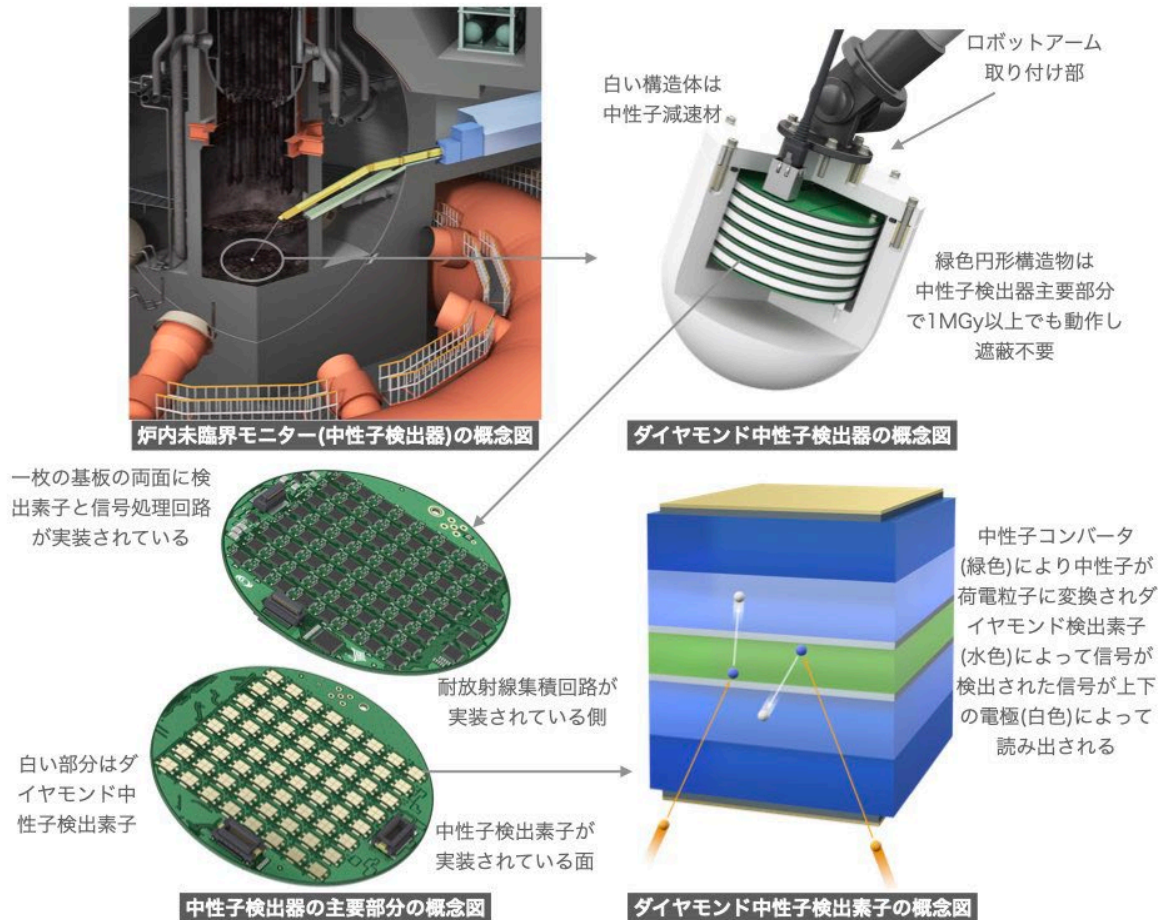




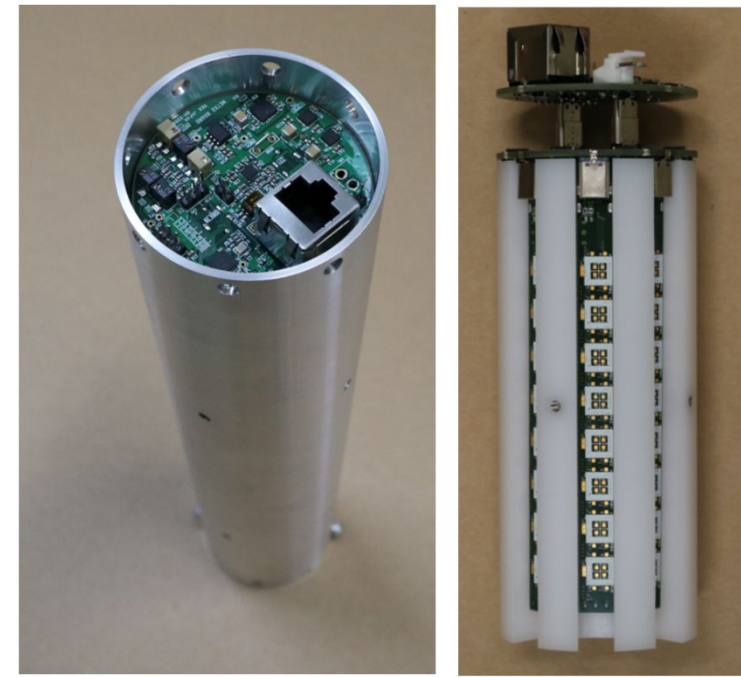
# 中性子検出システム

高エネルギー加速器研究機構で培われた耐放射線シリコン半導体ASIC回路と北海道大学・産総研製 耐放射線性ダイヤモンド検出素子を組み合わせた中性子計測システム\*。

狭隘なペネトレーションを通して原子炉格納容器内に挿入し、初期段階のデブリ調査、配管内調査、圧力容器内調査などでの使用が期待されている。



\* バックアップとして積層型検出素子を産総研が開発



令和2(2020)年度・英知事業・KEK田中代表  
「遮蔽不要な臨界近接監視モニタの要素技術開発」で試作した  
直径6cmのモックアップ試験機



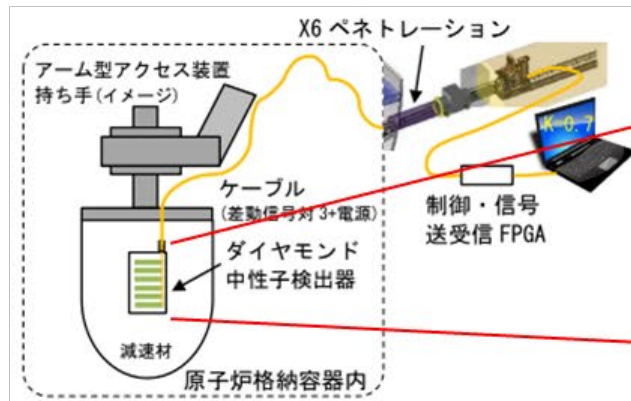


# 中性子検出システム

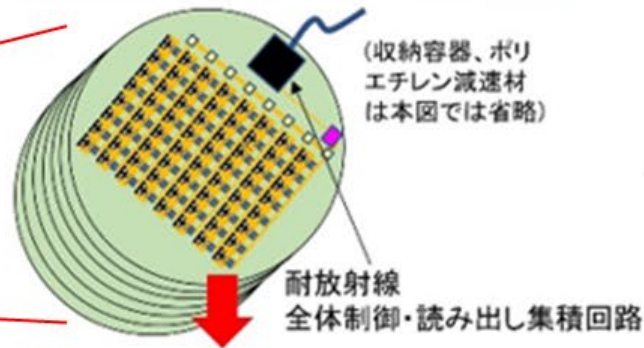
北大製ダイヤモンド中性子検出素子  
低 $\gamma$ 線感度・耐放射線性



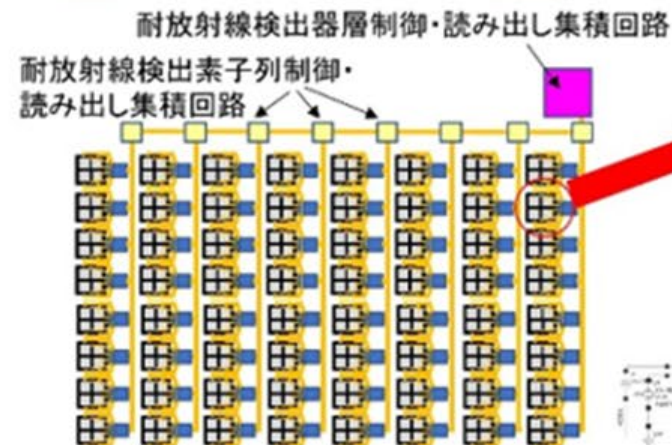
KEK製耐放射線性集積回路  
高速処理・多チャンネルの読み出しシステム



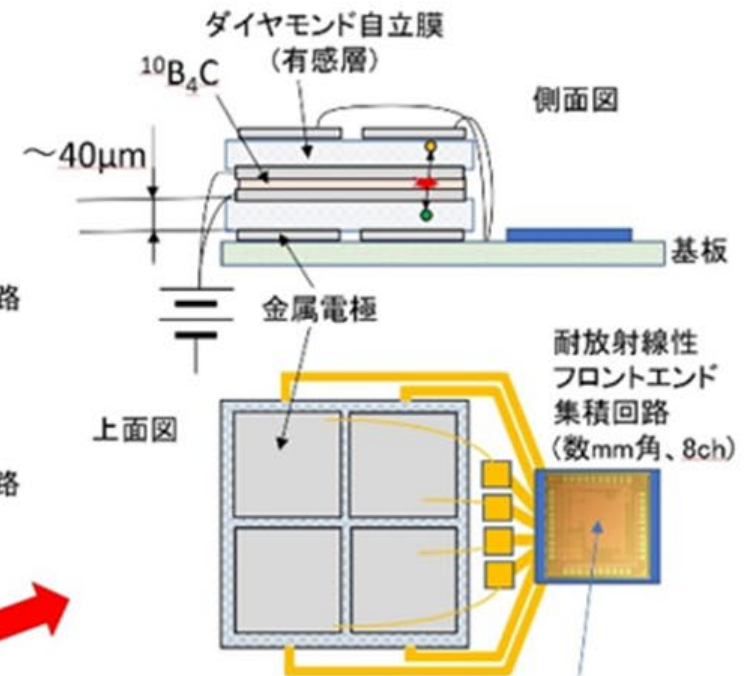
a) 実機のイメージ  
(検出器層×6層、検出素子:768個、3072ch)



b) 検出器層のイメージ  
(5mm角検出素子:64×2個=128個、512ch)



c) 中性子検出素子の例  
(5mm角結晶、2mm角電極×4×2ch=8ch)



要素技術開発の第一段階として、

1. **1kGy/h**で動作可能なダイヤモンド検出素子を開発する
2. KEK製集積回路の有用性を評価する





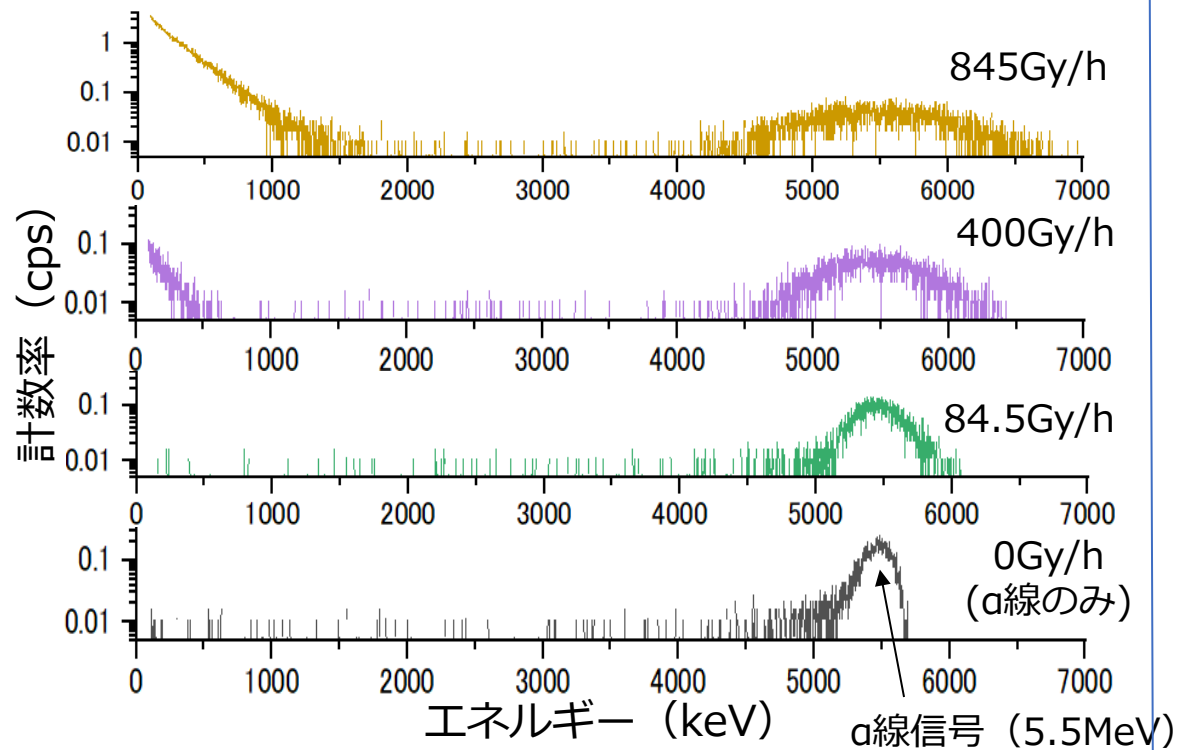
# 中性子検出システム

ダイヤモンド検出器: 厚さ61 $\mu$ m, Al-Ti/Au電極

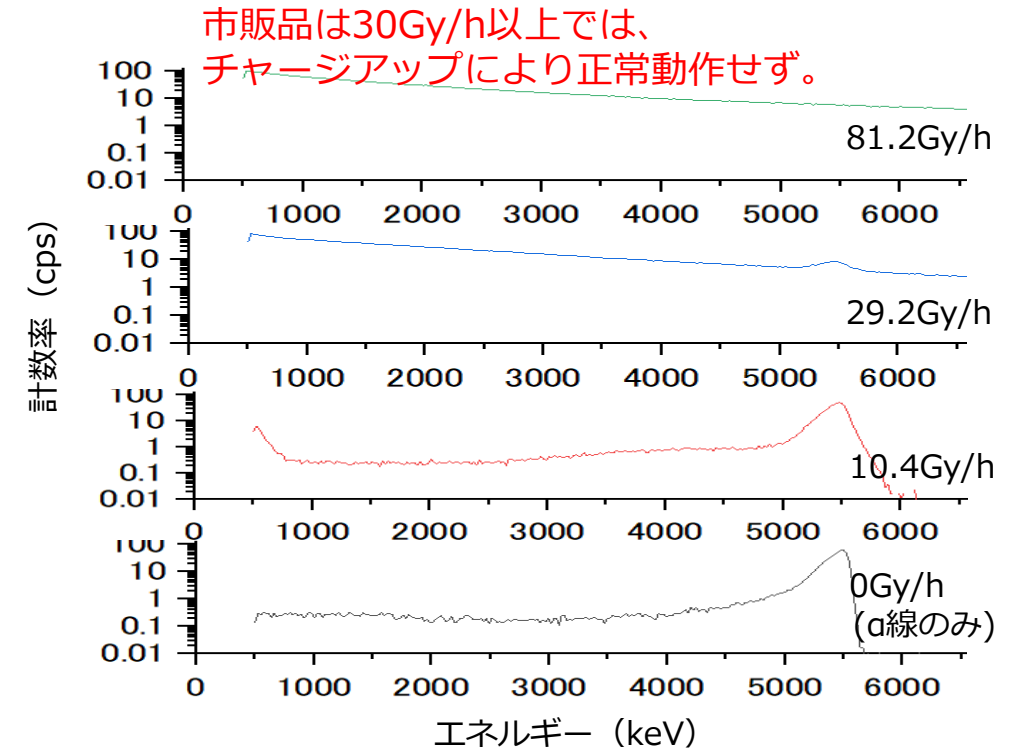
前置増幅器: ORTEC 142A、主増幅器: ORTEC 462

各 $\gamma$ 線線量率環境において $^{241}\text{Am}$ からの5.5MeV $\alpha$ 線を入射

測定時間: 3分間 1時間以上安定動作確認



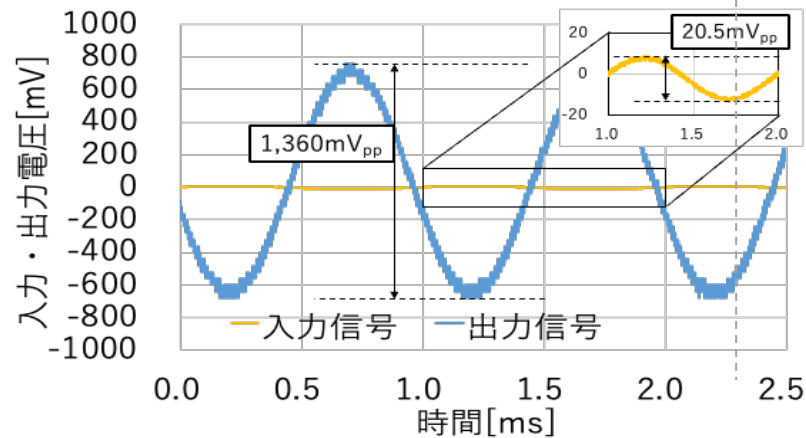
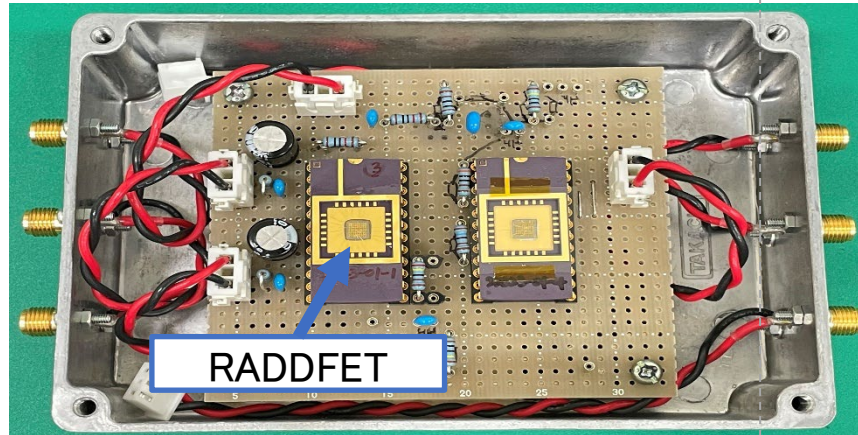
各 $\gamma$ 線線量率環境における  
北大製ダイヤモンド検出器の $\alpha$ 線応答関数



市販ダイヤモンド単結晶から  
同一構造で製作した検出器の $\alpha$ 線応答関数  
ElementSix社製エレクトロニックグレード  
ダイヤモンド単結晶 厚さ50 $\mu$ m

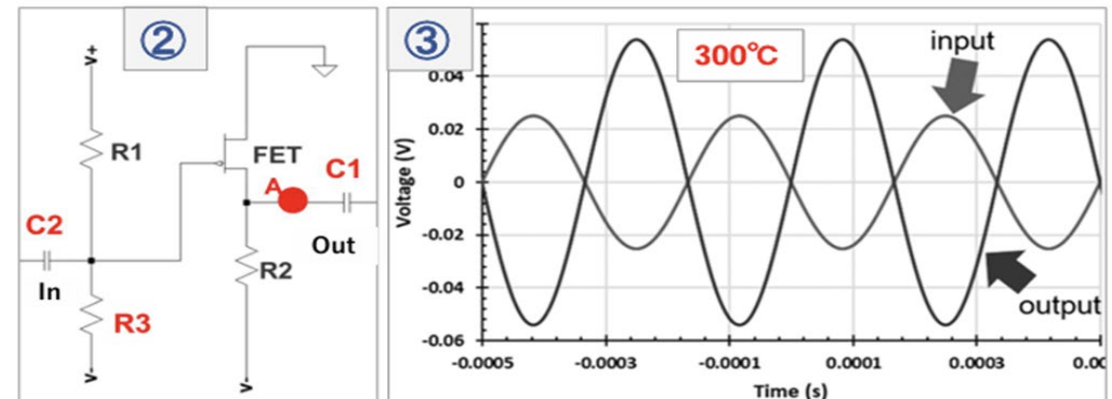
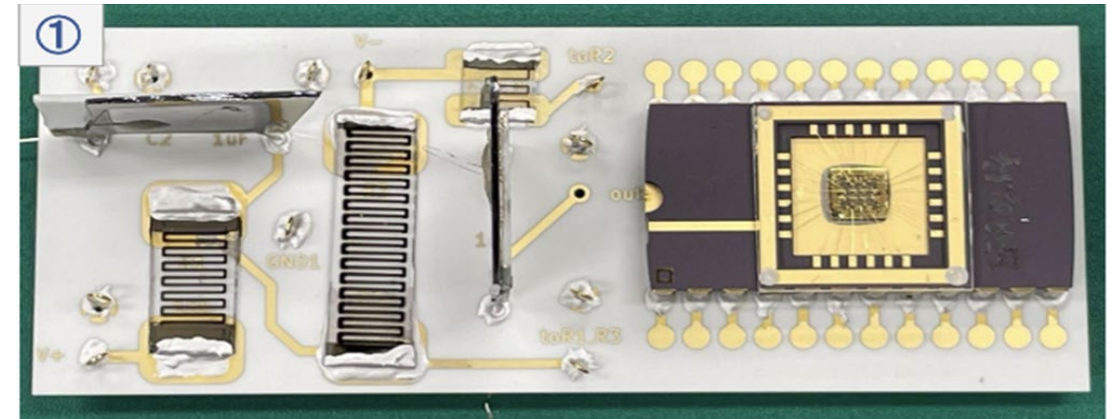
# 過酷環境用回路

多段負帰還プリアンプを開発  
【2025年：世界初】



- 1段増幅回路の300°C対応、2段増幅回路では高利得化・電圧負帰還による安定動作を実現
- 高温 & 放射線耐性を備えた、世界初となるアナログ回路技術（廃炉・原発用）

300°C環境下での1週間動作を確認  
【2024年：世界初】





## 過酷環境用回路: CSA 全体回路構成イメージ

- 耐放射線性に優れたダイヤモンドMOSFET(RADDFET)の開発成果を活用
  - ・集積線量3MGyにおける導電性を確認<sup>[1]</sup>、電圧増幅機能の実証<sup>[2]</sup>
- 素子レベルから実用回路レベルの開発へ展開

＜前回の報告＞

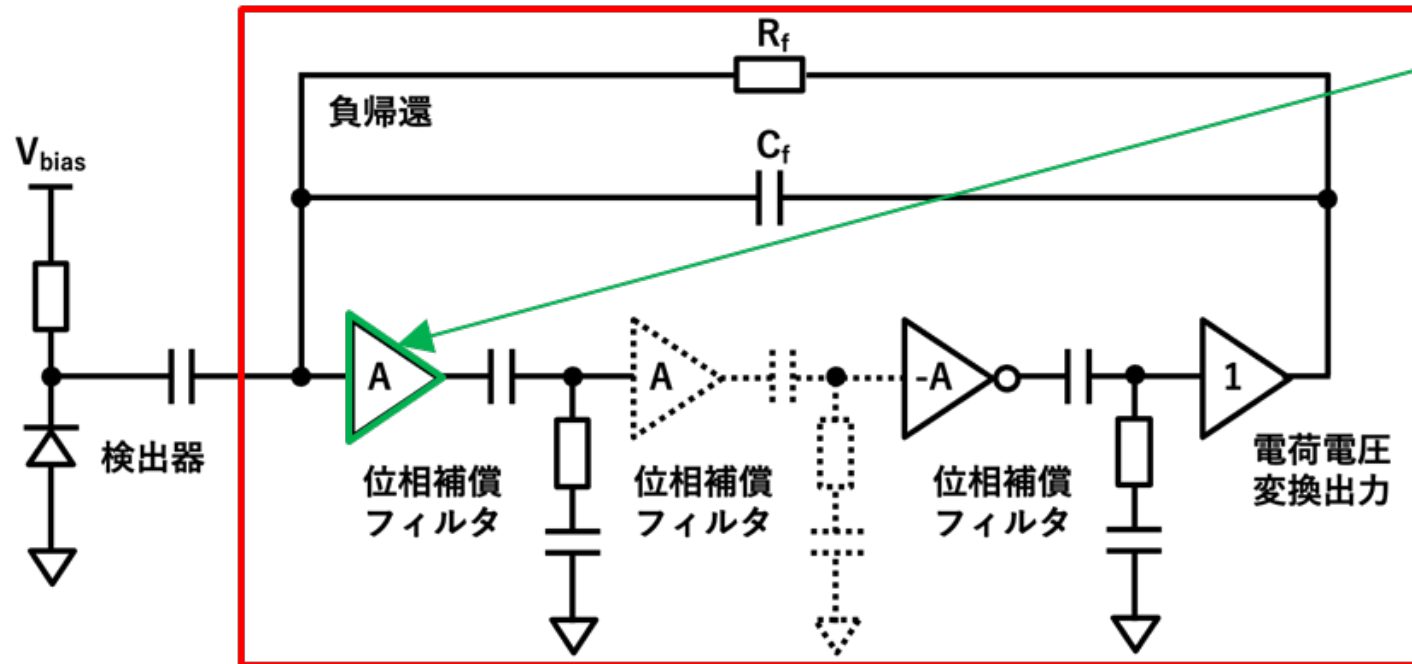
差動増幅型

ユニットアンプの開発

⇒ 目標とする周波数特性を確認

●今回の目的

- ・ RADDFETの2段増幅回路
- ・ 高利得化及び負帰還動作



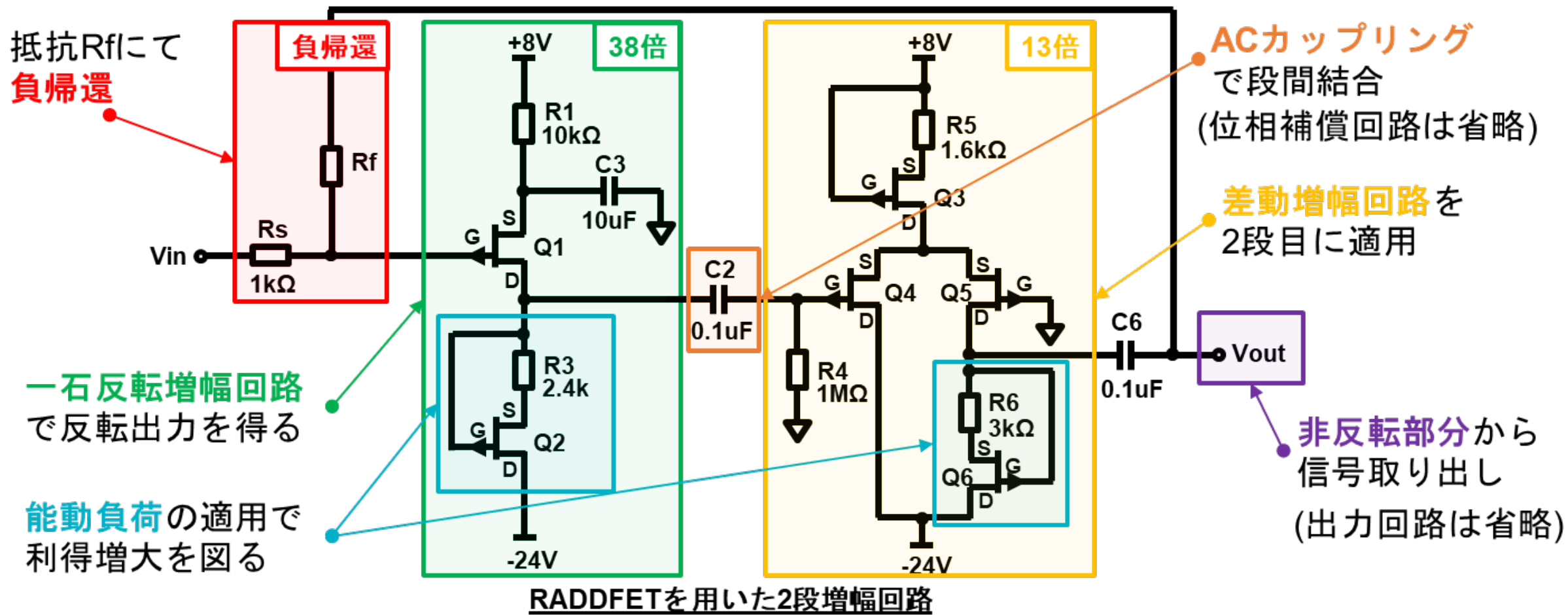
CSAの全体回路構成イメージ

**RADDFETを用いて2段増幅回路を構築し、負帰還動作を実現**



## 過酷環境用回路: 回路構成

### ●一石反転増幅回路と差動増幅回路による2段増幅回路

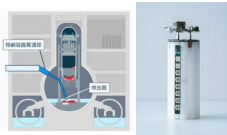
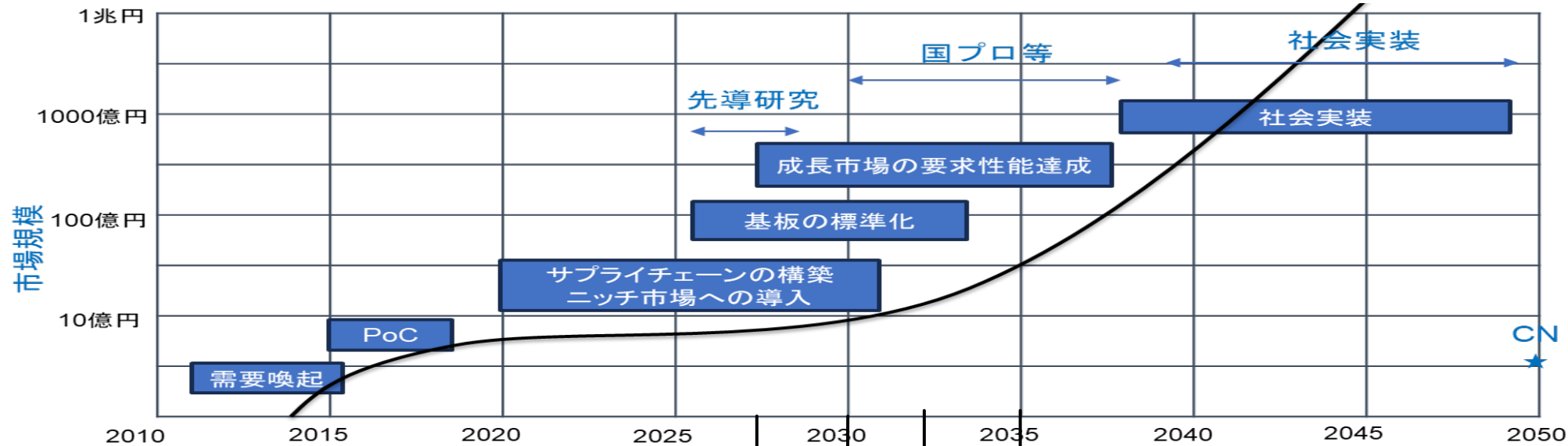


一石反転増幅(38倍)と差動増幅(13倍)の2段構成で約470倍の開放利得

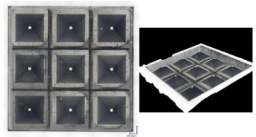




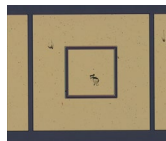
# ダイヤモンド半導体産業化に向けたロードマップ



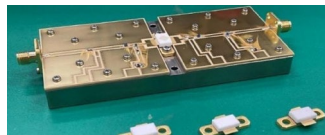
ダイヤ中性子検出器  
SAM：～100億円/年



2 inchダイヤモンド基板  
SAM：500億円/年



ダイヤモンドダイオード  
及び量子センサー  
SAM：500億円/年



ダイヤモンドパワーアンプ  
SAM：3,300億円/年  
(宇宙防衛市場)

経済効果：廃炉数兆円レベルのコストダウン効果

経済効果：5兆円の宝飾品市場及び  
TAM3兆円の半導体基板市場へ

経済効果：TAM5兆円のワイヤレス給電市場及び  
生体反応を記録する量子センシングの足掛かりに

経済効果：安全保障及びSAM2.5兆円の  
次世代通信産業へのキラーコンテンツに



## 総括：大熊ダイヤモンドデバイス社とは

東日本大震災という国難を通じて集積した技術を軸に、  
ダイヤモンド半導体の社会実装を実現し、  
日本発の次世代半導体産業を創造しリードする



## App1:海外動向





# PAの熱律速をダイヤモンドで緩和

—高放熱・高耐熱・高出力密度により小型SARのS/N・NESZ改善へ

	Si <sup>[1]</sup>	4H-SiC <sup>[1]</sup>	GaN <sup>[1]</sup>	GaAs <sup>[1]</sup>	AlN <sup>[3,4,6]</sup>	$\beta$ -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>[2,3,5]</sup>	Diamond <sup>[1,7,8]</sup>
Band gap (eV)	1.12	3.26	3.39	1.43	6.1	4.8	5.47
Mobility (cm <sup>2</sup> V <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	1400	1100	900	8500	14	200	680
Breakdown electric field (MV/cm)	0.3	2.8	3.3	0.4	15.4	10.3	10
Thermal conductivity (Wcm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	1.5	4.9	2	0.5	3.19	0.27	20
Saturation velocity (10 <sup>7</sup> cm s <sup>-1</sup> )	1	2.2	2.7	2	1.3	1.1	1.4
relative permittivity (a.u.)	11.8	9.95	9	12.8	8.5	10	5.5

## なぜダイヤモンドが「熱律速を緩和」できるのか

- 熱伝導率：GaN比10倍以上（→熱拡散/放熱）

## 高出力を実現する根拠

- 絶縁破壊電界：GaN比3倍以上（→高電圧・高出力密度）
- バンドギャップ：GaN比約1.6倍（→高温・低リーク）
- 高周波・高出力ポテンシャル（JFOM=  $Ebd \times v_{sat}$ ）：  
ダイヤモンドはGaN比約1.6倍→高周波×高電圧（高出力）で有利

## ダイヤモンド半導体をもたらすメリット

- 放熱性（熱律速の緩和）
- 高温耐性（高デューティ化）
- 高出力密度（小型のまま出力を上げられる）



# 米国：DoD/DARPAが中心となり、ダイヤモンド半導体関連PJを複数実行中

## ①LADDIS

LADDIS: Large Area Device-quality Diamond Substrates

- テーマ：半導体デバイス品質の大型単結晶ダイヤモンド基板を製造するための革新的なアプローチを実現する
- 最終目標：米国国内に、国際競争力のある高品質ダイヤモンド基板を商業的に供給できる基盤を確立する
- 期間：3年（23年7月～26年6月）
- 予算規模：～6M USD（≒9億円）
- 採択企業：
  - ① Great Lakes Crystal
  - ② Technologies International
  - ③ Femto Science
  - ④ ペンシルベニア州立大学
  - ⑤ Advent Diamond
  - ⑥ WD Advanced Materials
  - ⑦ **Element Six**

## ②THREADS

THREADS: Technologies for Heat Removal in Electronics At the Device Scale

- テーマ：高出力化するRFデバイスにて、半導体素子の発熱による性能劣化や寿命短縮がボトルネックとなっている現状を打開することを目指す
- 期間：4年（23年8月～27年6月）
- 予算規模：～60M USD（≒90億円）  
※Broad Agency Announcementに基づく
- 採択企業：
  - ① **RTX**
  - ② **BAE Systems**

## ③UWBGs

UWBGs: Ultra-Wide Band Gap Semiconductors

- テーマ：次世代のワイドバンドギャップ半導体（UWBGs；Diamond、AlN等）に関する基盤技術開発プログラム
- 期間：4年（24年7月～28年6月）
- 予算規模：40-50M USD（≒70億円）
- 採択企業：
  - ① **RTX**
  - ② Advent Diamond
  - ③ WD Advanced Materials
  - ④ Hexatech
  - ⑤ **Element Six**
  - ⑥ Penn State University
  - ⑦ Georgia Tech Research Corp.
  - ⑧ Cornell University
  - ⑨ Lehigh University
  - ⑩ University of Michigan
  - ⑪ North Carolina State University

参考) UWBGS : RTXからも公式リリース出ており、米国企業もR6年度からダイヤモンド半導体含めた実用研究が本格的に開始されていると推測

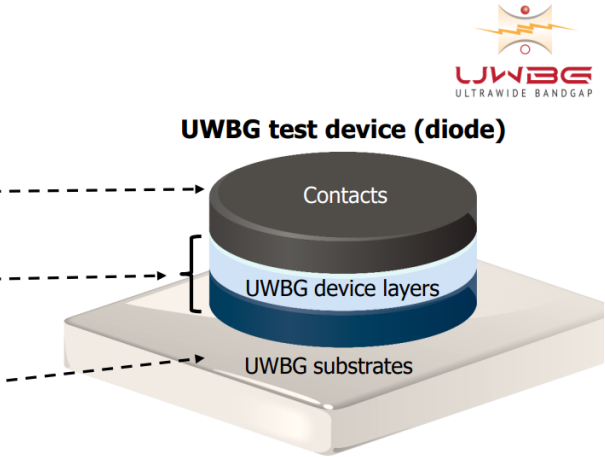
DARPA UWBGS Goals

UWBGS Technical Challenges
Achieving ultra-low resistance electrical contacts to UWBG materials
Controlled incorporation of electrically active impurities (dopants) in UWBG materials
Creation of low defect and abrupt UWBG homo- and hetero-junctions
Creation of large area device quality UWBG substrates

Metric	Units	Goal
Devices Layers and Electrical Contacts		
Normalized doping efficiency	--	0.9
Material non-uniformity	%	5
Electrical contact resistance	$\Omega\text{-cm}^2$	$2 \times 10^{-6}$
Test diode ideality factor	--	$\leq 1.1$
Test diode non-uniformity	%	5
Test diode $F_{co}$	GHz	1000

Distribution A: Approved for public release; distribution unlimited.

<https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/2025-08/Tom%20Kazior.pdf>



Metric	Units	Goal
Substrates		
Size	mm	100
Dislocation density	$/\text{cm}^2$	$10^3$
Point defect density	$/\text{cm}^3$	$10^{16}$
Thermal conductivity	W/m-K	0.95X
Surface roughness	nm	0.2

25

RTX to develop ultra-wide bandgap semiconductors for DARPA

New class of materials offer improved conductivity and thermal management properties

October 02, 2024



<https://www.rtx.com/news/news-center/2024/10/02/rtx-to-develop-ultra-wide-bandgap-semiconductors-for-darpa>





# 参考) ARL (米国陸軍研究所) : 遅くとも2020年よりダイヤモンド半導体の開発チームを組成し、2035年の製品化を目指している由



## ARL DIAMOND ELECTRONICS RESEARCH GROUP

UNCLASSIFIED



U.S. ARMY COMBAT CAPABILITIES DEVELOPMENT COMMAND –  
ARMY RESEARCH LABORATORY

### Diamond Electronics Research at ARL

Tony Ivanov  
15 Dec 2020  
tony.g.Ivanov.civ@mail.mil



Tony Ivanov  
BC, Technology Integration



Glen Birdwell  
TL, Material Metrology



Sergey Rudin  
Theory



Mahesh Neupane  
DFT Modeling



Dima Ruzmetov  
Substrate Engineering



James Weil  
Processing Lead



Stephen Kelly  
Processing



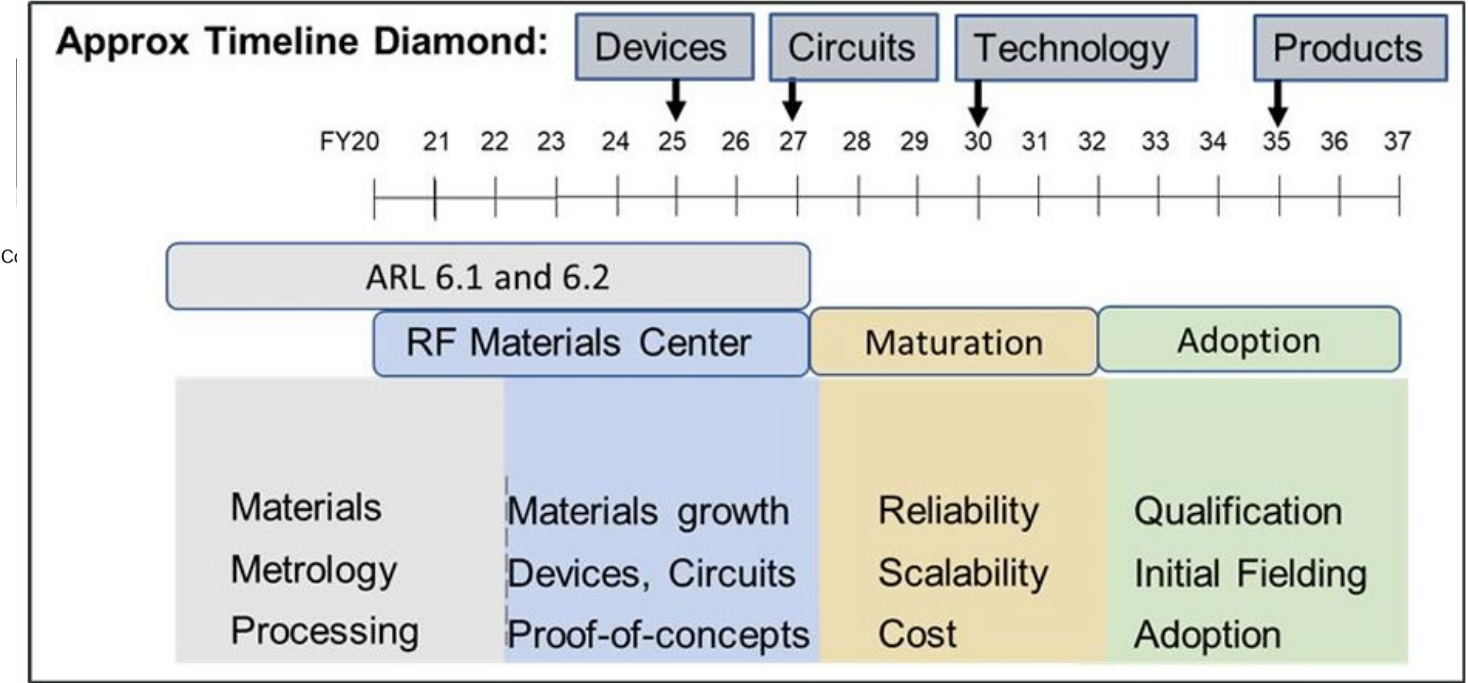
Derwin Washington  
Processing



Pankaj Shah  
Compact Modeling



Leo De La Cruz  
TCAD, RF Test



[https://imlive.s3.amazonaws.com/Federal%20Government/ID247006616946604150768123815186932724977/UWBG\\_RF\\_Electronics\\_Center\\_Propose rs\\_Day\\_Presentations\\_Combined.pdf](https://imlive.s3.amazonaws.com/Federal%20Government/ID247006616946604150768123815186932724977/UWBG_RF_Electronics_Center_Propose rs_Day_Presentations_Combined.pdf)



## App2:国内ダイヤ業界がどう動くべきか



ご提案：

## アナログ半導体の次世代覇権獲得に向けた 「ダイヤモンド半導体」の国家戦略化

既存のレーダー・通信・電力システムを一新し、宇宙・防衛・通信産業を変革する「ゲームチェンジングな戦略技術」として、

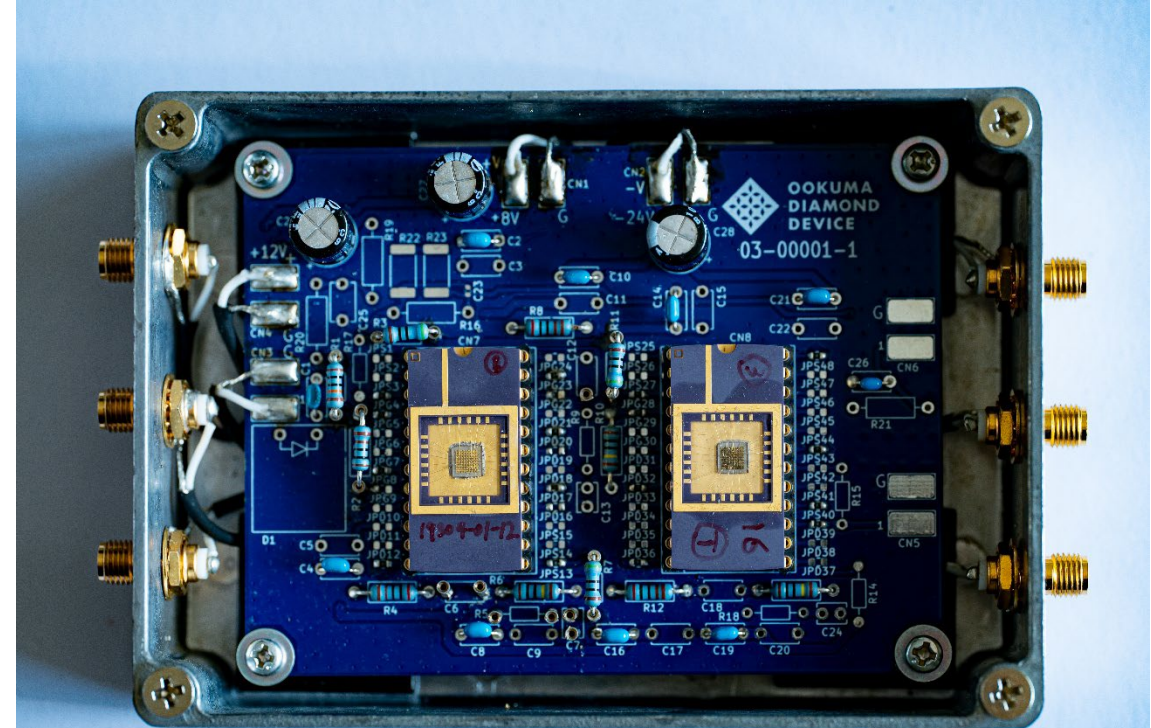
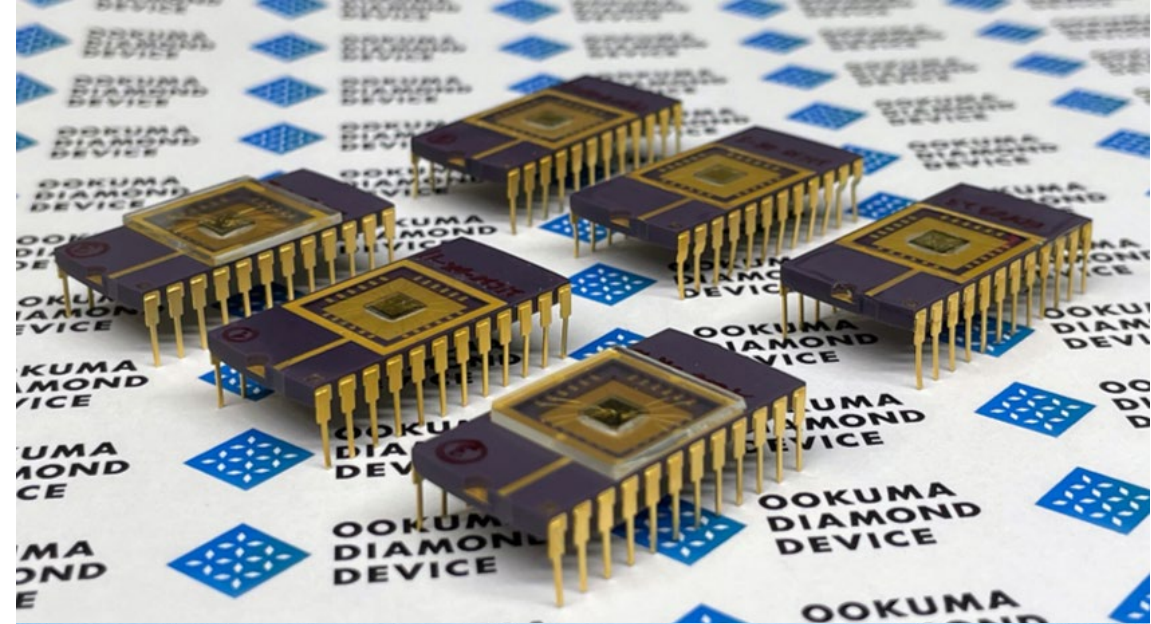
### ①骨太方針、②科技計画、③半導体産業戦略

等にダイヤモンド半導体を取り込む流れを作っている。

#### 経済安全保障の観点からの比較

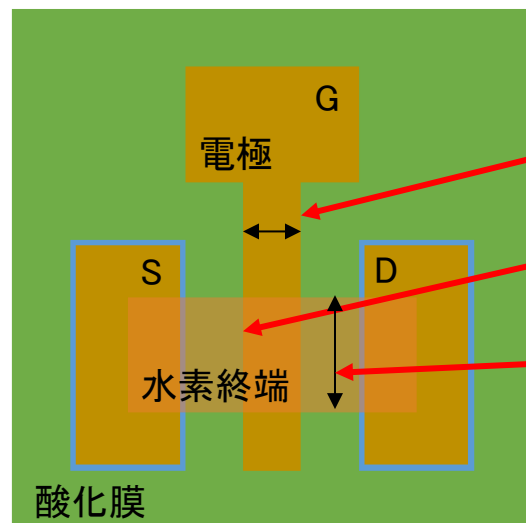
- ⚠ **従来のGaN（窒化ガリウム）**  
原料のガリウムは90%以上が中国産で、地政学リスクによる供給途絶の懸念あり
- ✓ **ダイヤモンド半導体**  
純国産化も可能な唯一の半導体であり、**サプライチェーン強靱化に大きく貢献可**

今こそ一丸となり、日本としてダイヤモンド半導体の社会実装に向け全力疾走すべき時

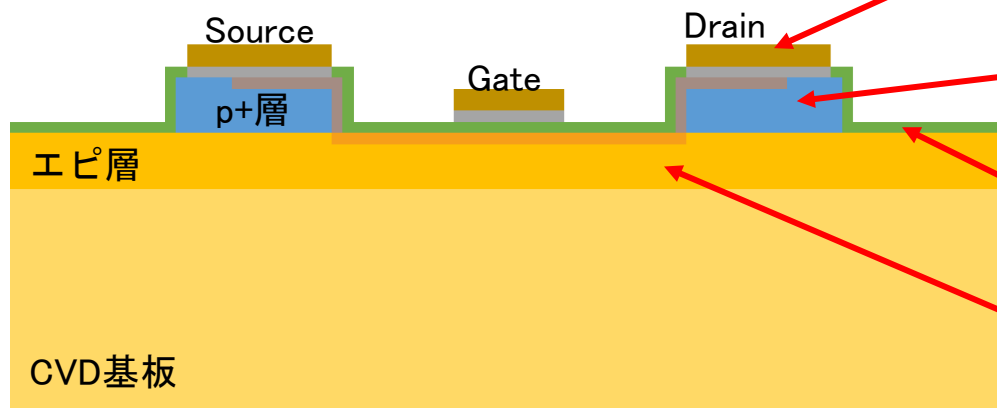




# FETの性能向上のために



表面伝導型MOSFET上面図



表面伝導型MOSFET断面図

- ① **ゲート長の微細化**  
増幅率・最大出力の向上
- ② **シート抵抗を低減**  
増幅率・最大出力の向上
- ③ **ゲート幅の最適化**  
増幅率・最大出力の制御
- ④ **電極を厚く**  
最大出力の向上・これ以降の評価に必須
- ⑤ **p+層の制御・微細化**  
最大出力の向上・同一性能FETに必要
- ⑥ **酸化膜の条件だし・制御**  
耐放射線性・耐高温性の向上
- ⑦ **エピ層の制御**  
最大出力の向上・同一性能FETに必要

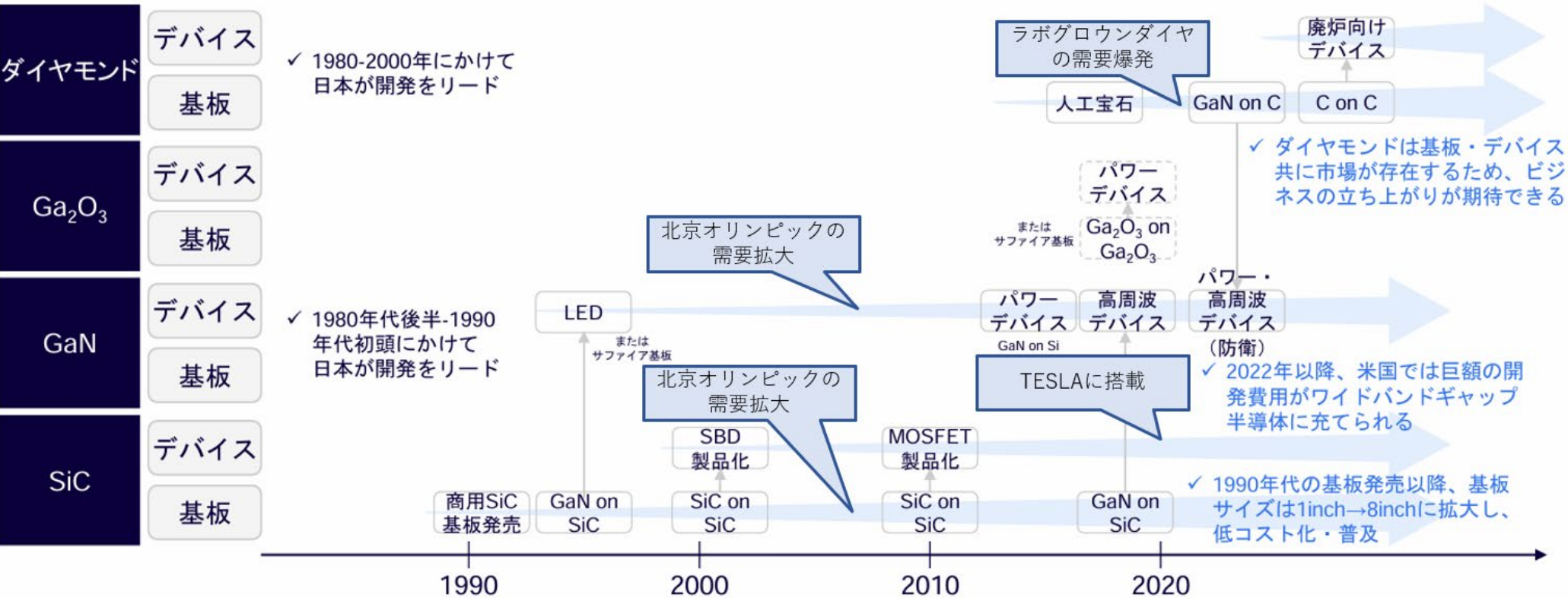


# 宝飾品ダイヤの市場立ち上がりはダイヤモンド半導体にとって福音

## ワイドバンドギャップ半導体の歴史

実用化  
本格的な実用化は今後

NOT EXHAUSTIVE



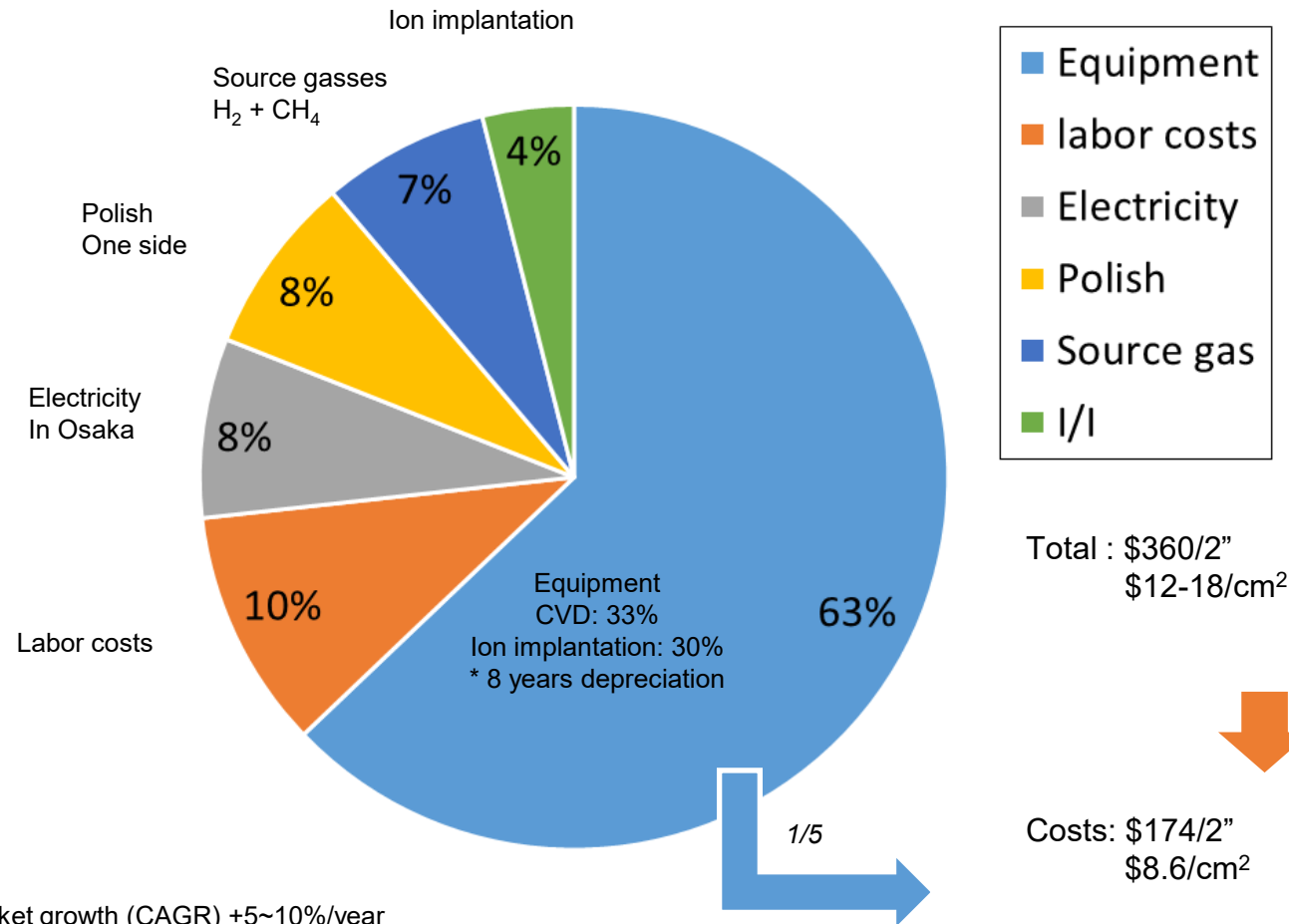
ウェハ単価 (円/cm <sup>2</sup> )	デバイス単価 (円/個)
15,000~135,000	
10,000~300,000	5,000~30,000 ※サンプル除く
5,172~15,016 ※自立GaN	1,000~2,000 ※on SiC
679~1,245	100~10,000





# ダイヤモンドウェハコスト予測

## ダイヤモンドウェハのコスト予測



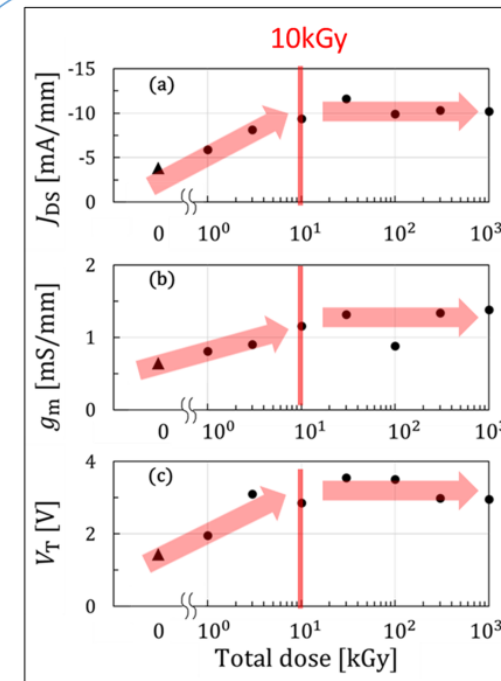
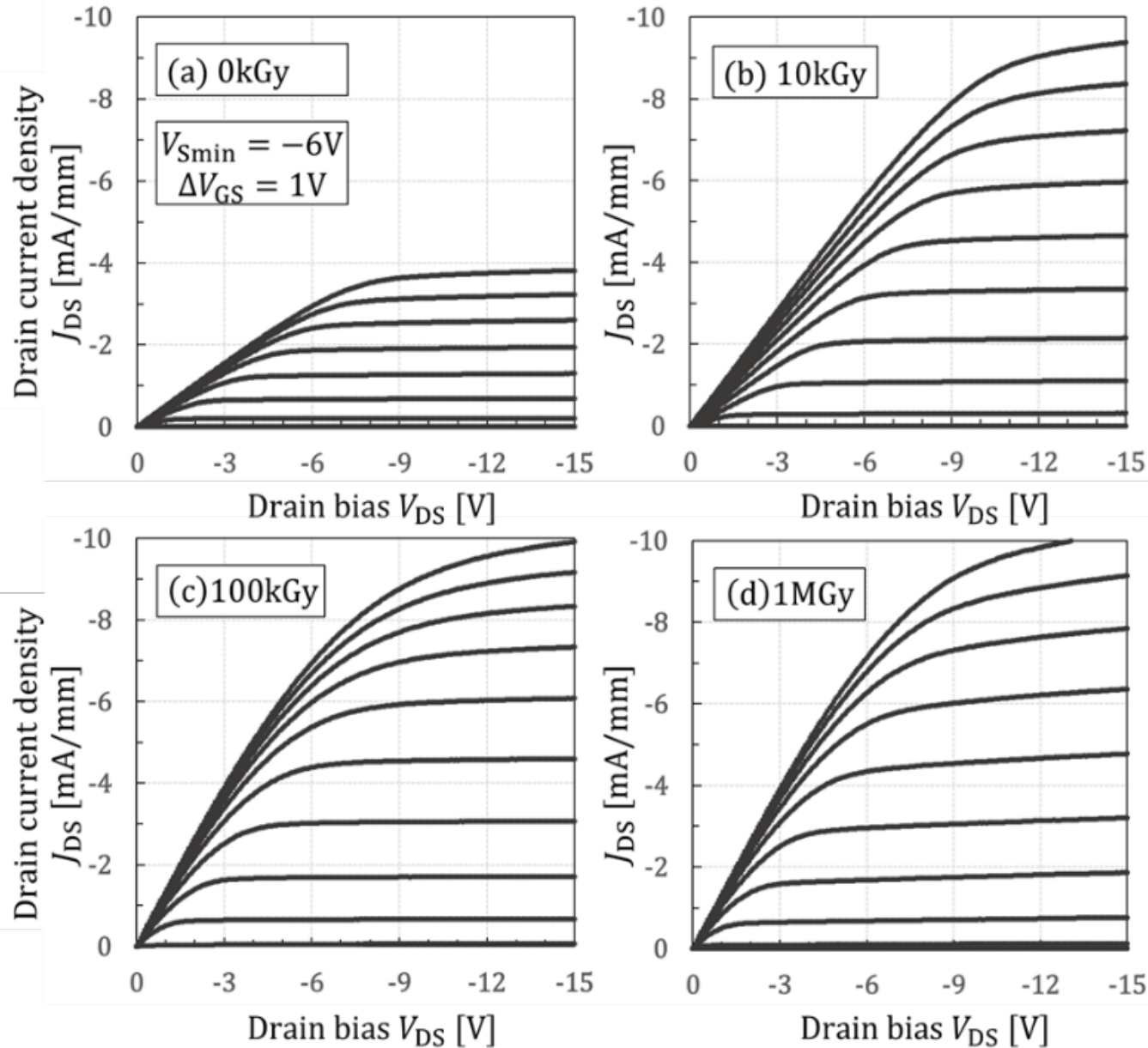
Lab-grown diamond market growth (CAGR) +5~10%/year  
USD 120B@2030

Y. Mokuno et al., 5<sup>th</sup> Workshop of the Advanced Power Semiconductors Division, JSAP 2016, Hyogo, Japan.  
N. Fujimori (EDP), 31<sup>st</sup> Diamond Symposium, 2017, Hyogo, Japan.





# RADDFETのX線照射による特性変化



Initial drift occurs up to 10kGy

No degradation occurs after 10kGy

New defects (traps) are not created by the irradiation



# 廃炉のその先へ





# 目標：地上の過酷環境で鍛えたダイヤモンド半導体PAで、 小型SARの熱律速を突破



## 【技術の源泉】

地上の過酷環境(福島廃炉)で鍛え抜いた耐放射線性・耐高温デバイス技術



## 【アクション】

宇宙へ転用  
「シミュレーション x 実測」で熱設計を確立し、熱の壁を突破



## 【ゴール】

3年でTRL5達成(宇宙模擬環境試験)  
小型SARの観測性能を飛躍的に向上

現状：2kW PA→船の捕捉(以下画像の通り)

将来：ダイヤモンドによる4kWを実現→車両が捕捉可能に

## 貢献分野へ展開



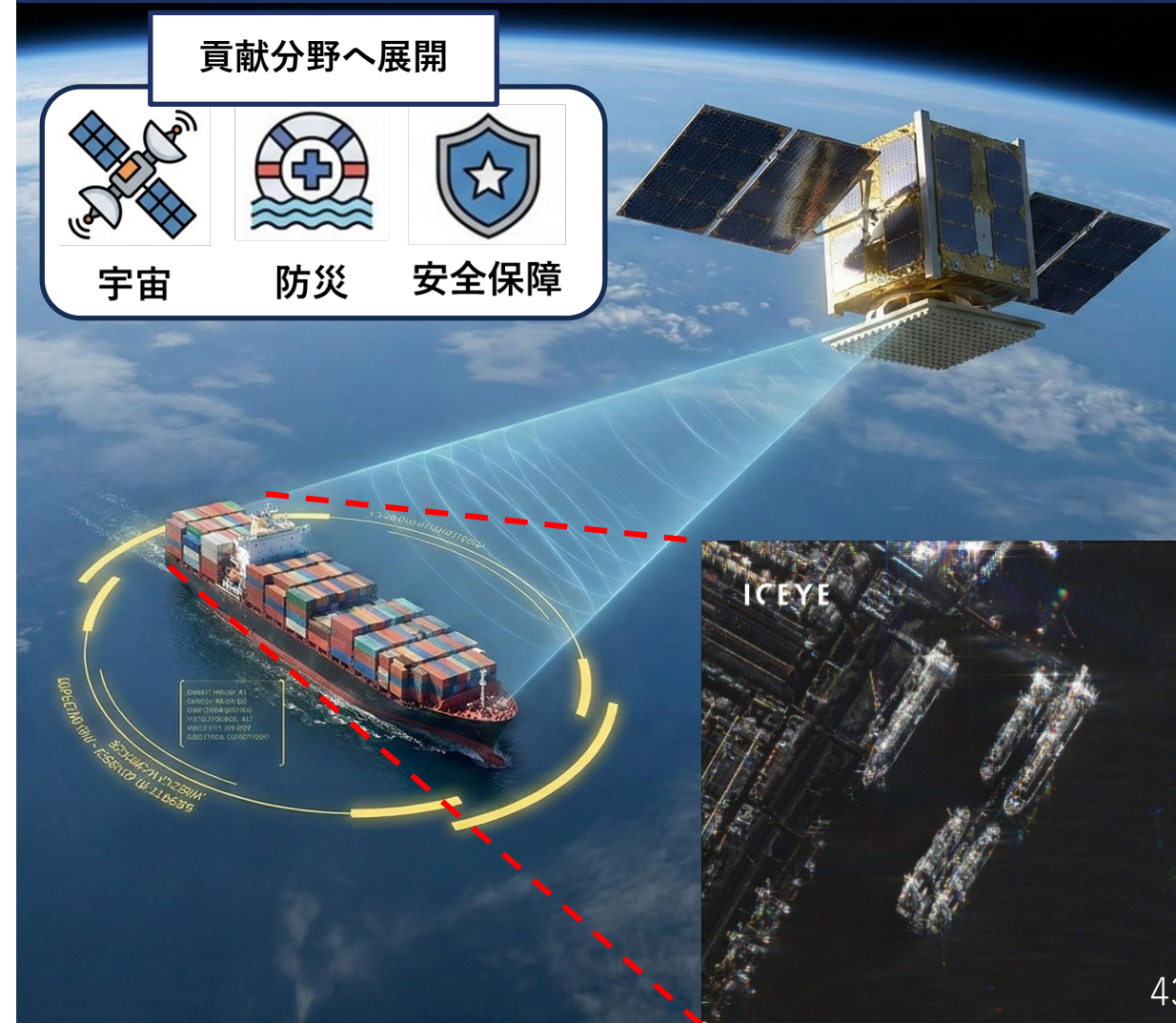
宇宙



防災



安全保障



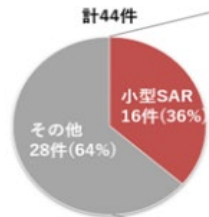




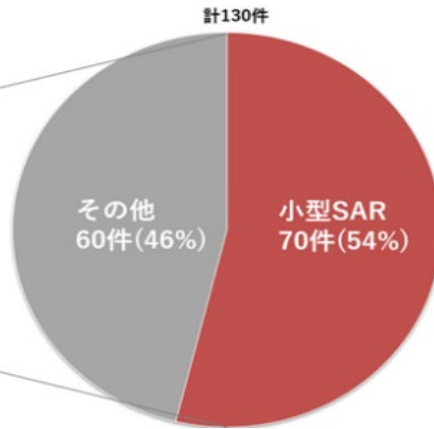
# 小型SARが市場成長を牽引——解くべき技術課題は「熱」

## 市場動向

2020-2025年宇宙機  
打ち上げ総計



2030年までの打ち上げ総計



出典：Synspective/QPS公表資料、内閣府/JAXA公開情報等を基に当社推計（概算）

- 宇宙機打ち上げ数に対する小型SAR比率急増：2020~2025年の36%から、**2030年には54%へ拡大。宇宙市場成長のけん引役**
- 背景：**SAR衛星が提供するデータの価値が、宇宙分野以外の多様なエンドユーザーに直接的に結びついている**という特性がある。SARデータは、昼夜および天候を問わず高解像度の地表情報を提供できるため、災害監視、インフラモニタリング、農業・漁業支援、金融市場予測、安全保障といった、地上における具体的な課題解決や意思決定に寄与する。

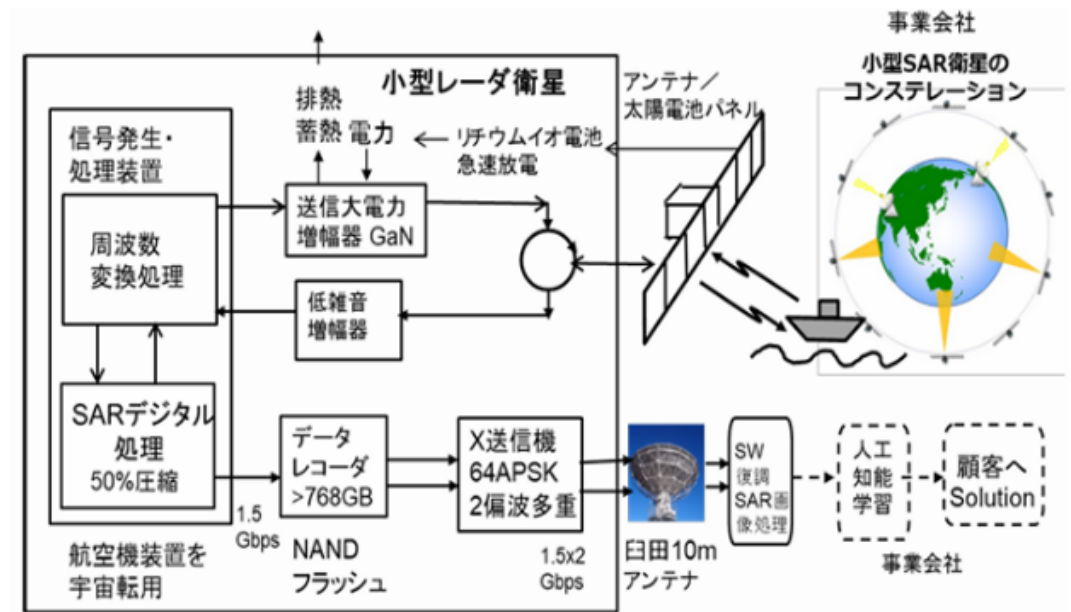


図 1-6 SAR 衛星・コンステレーションシステム [1]←

- 高まる需要：**地球観測データ、特にSARデータに対する需要は世界的に高まっており、より高頻度・高解像度な情報を求める声は大きい。**小型SAR コンステレーションは、まさにこのニーズに応えるソリューションとして期待されている。

# 小型SARの性能（S/N・NESZ）はアンテナ利得とPA送信出力に一次的に依存 — 小型化制約下ではPA出力の寄与が大きい



性能（S/N比、NESZなど）はアンテナ利得とPA送信出力に一次的に依存

ユーザー要求

低RCS目標の検知  
(例)車両



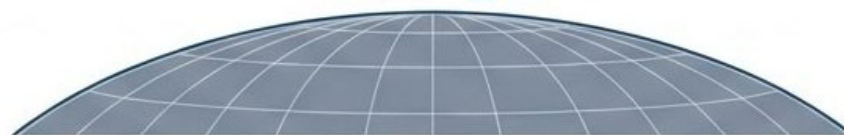
= NESZ改善が必要

アンテナ

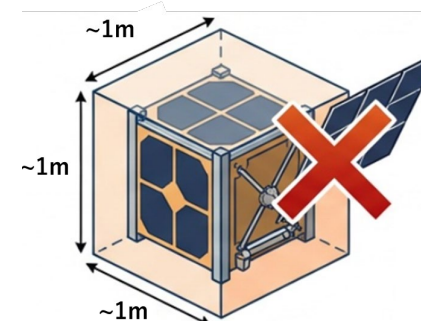
PA (パワーアンプ)  
= 心臓部

マイクロ波  
照射

反射波

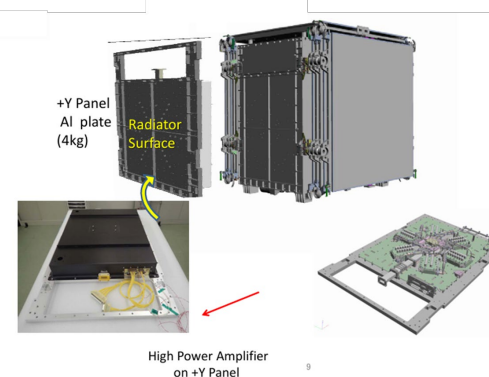


## アンテナによる性能向上



小型衛星では  
・展開寸法  
・構造強度  
・質量／慣性  
の制約により、**アンテナ利得のスケールアップが困難**

## PAによる性能向上

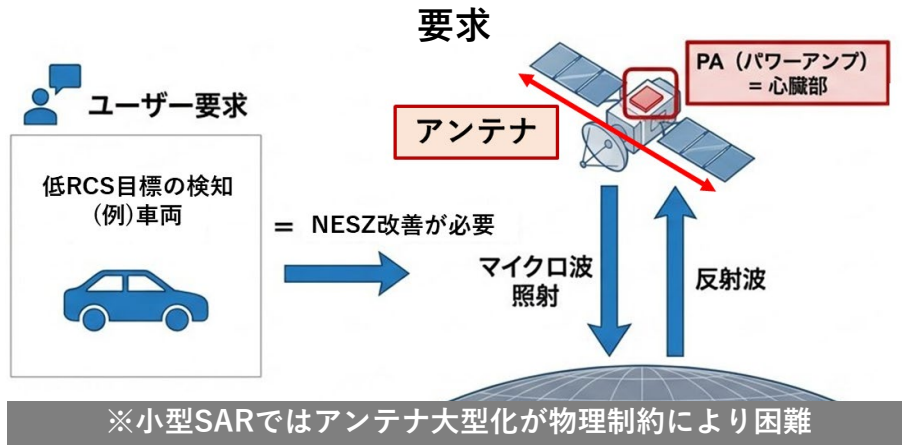


アンテナサイズの拡大が頭打ちとなりつつある現状において、**小型SAR衛星の性能を飛躍的に向上させるためには、PA送信出力の増強が不可欠である。**ただしPA出力向上は熱により律速されている。

# PA高出力化のボトルネックは「熱」 —GaNでは熱律速が支配的で、材料レベルの革新が鍵



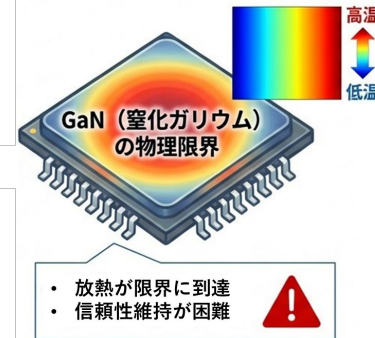
## さらなる高出力化の要求



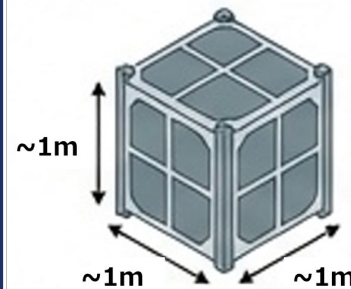
## 出力向上が引き起こすPA発熱



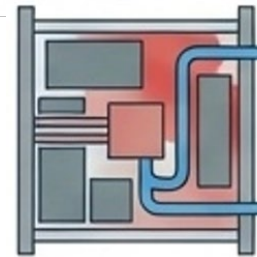
## 高出力化の壁＝「熱」



- ①半導体素子の限界 (放熱) : GaNでは熱密度が支配的となり、 $T_j$ 制約で高出力化が頭打ち



- ②構造の限界 : 小型衛星では物理的制約により放熱面積・熱輸送経路が増やせない



素子・構造の両面で熱が律速しており、既存GaNの延長や冷却強化では限界があるため、材料レベルで物理上限を引き上げる必要がある

材料革新

