

半導体が創る未来の地図

～ 阿蘇9万年の自然と最先端技術の融合を通して ～

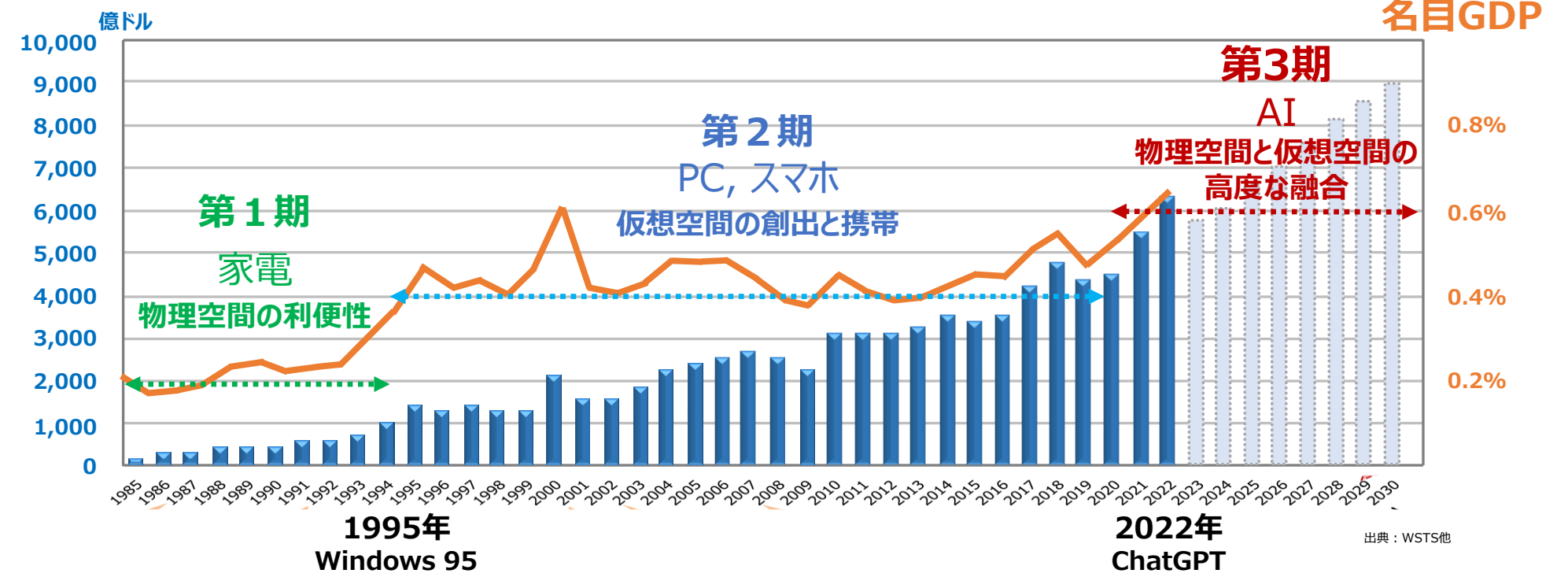
熊本県立大学 理事長
東京大学 特別教授
黒田 忠広



半導体は第3期成長期を迎えAIが市場を創出する

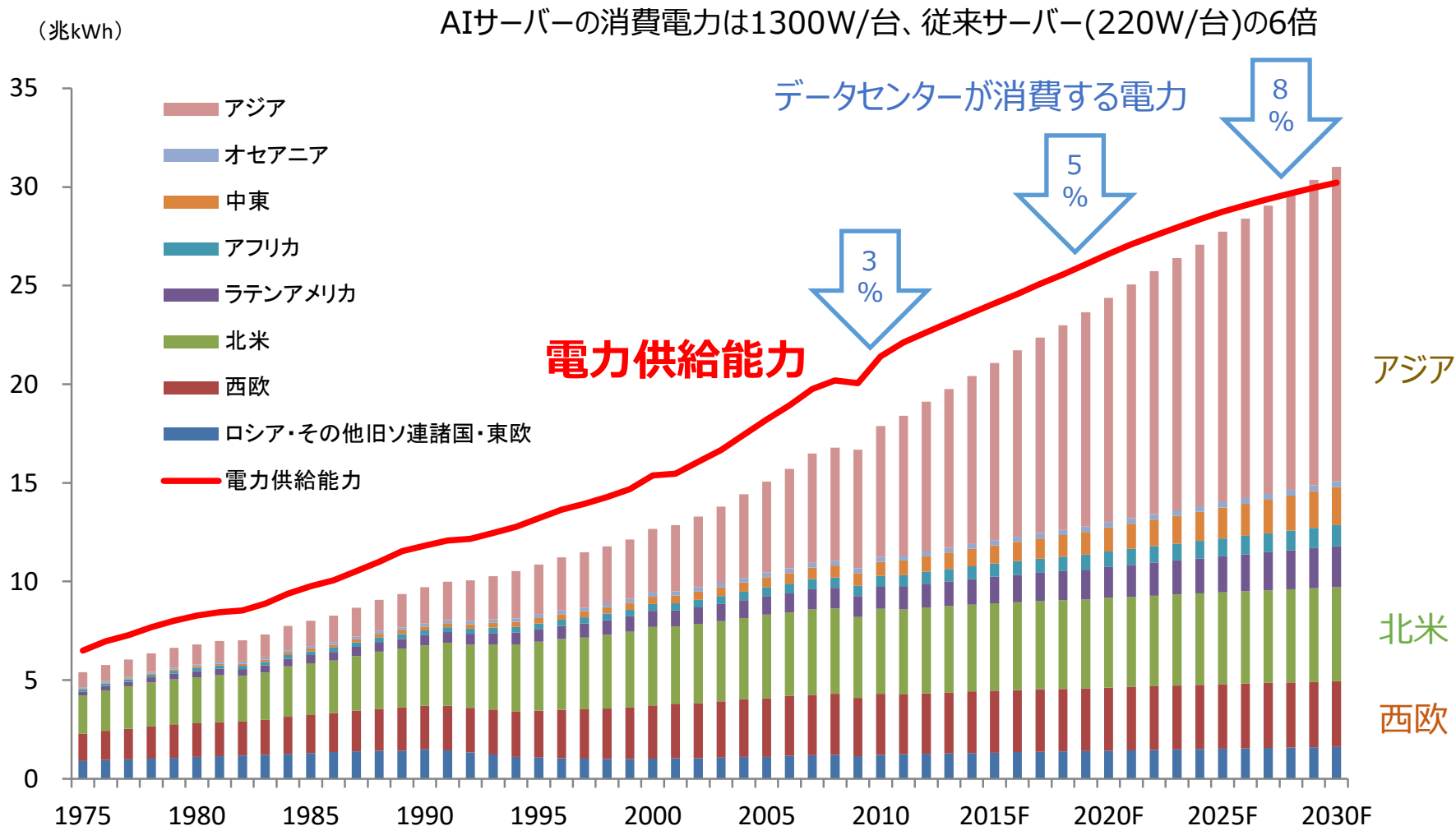
- 第3期成長期を迎え、物理空間と仮想空間の高度な融合で価値を創る
- AIが半導体の需要を創出し、2030年には1.1兆ドル(現在の2倍)の市場が出現する

半導体市場



AIがエネルギー危機を招く

- 2025年以降、世界の電力需給はひっ迫、特にアジアでの電力削減が急務
- 電力の供給能力と半導体の省エネ力が国力の源泉



アジェンダ

1. 機会と危機、AIとエネルギー
2. 知能を考える
3. エネルギーを考える
4. 教育を考える
5. 不確実な時代を生きる

脳の歴史(1) 脳の誕生



5億年前

脳の誕生



脳の歴史(2) 人類と心の誕生



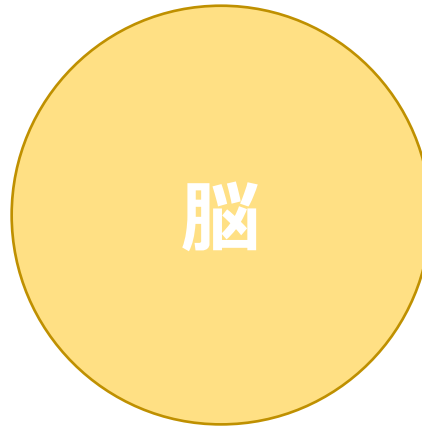
5億年前

脳の誕生



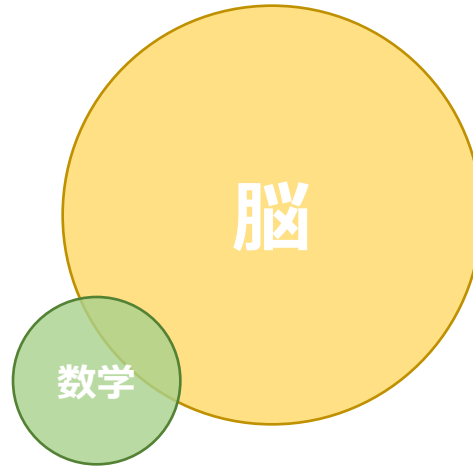
700万年前

人類の誕生、社会の誕生、心の誕生、言語の誕生



脳の歴史(3) 数学の誕生

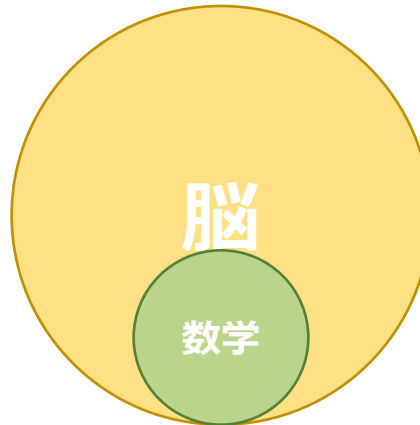
- 🕒 5億年前 脳の誕生
- 🕒 700万年前 人類の誕生
- 🕒 3,000年前 数学の誕生



脳の歴史(4) 数学の発達

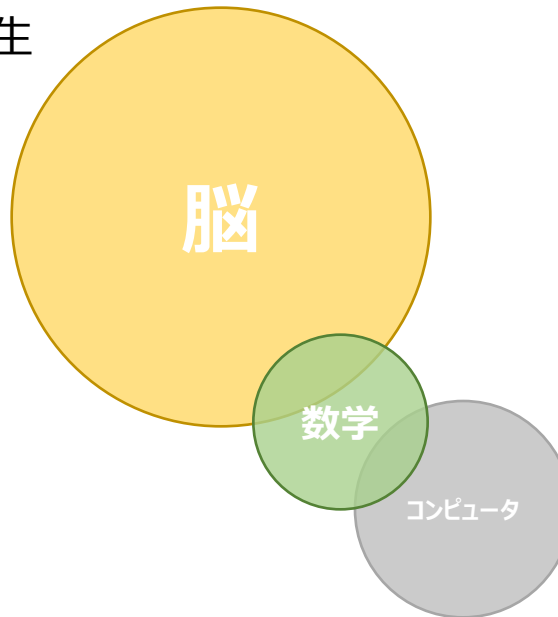
- 🕒 5億年前 脳の誕生
- 🕒 700万年前 人類の誕生
- 🕒 3,000年前 数学の誕生

道具から思考に発展
記号代数の発明
微積分の発明
抽象的な記号の体系



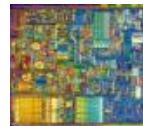
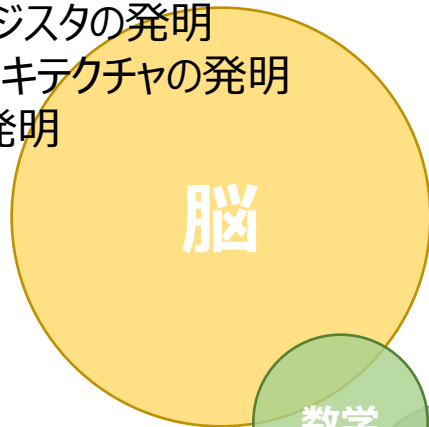
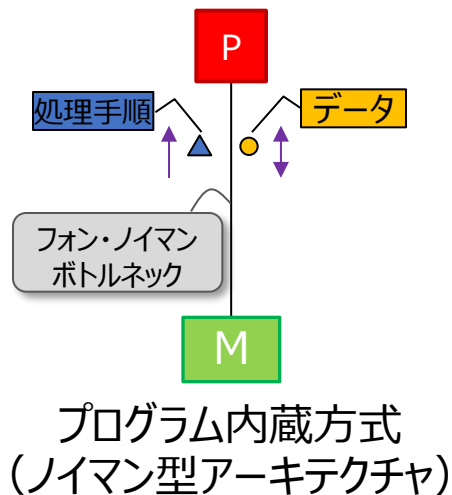
コンピュータの歴史(1) 誕生

- 🕒 5億年前 脳の誕生
- 🕒 700万年前 人類の誕生
- 🕒 3,000年前 数学の誕生
- 曖昧なものから完全に脱却
- 🕒 20世紀 コンピュータ誕生

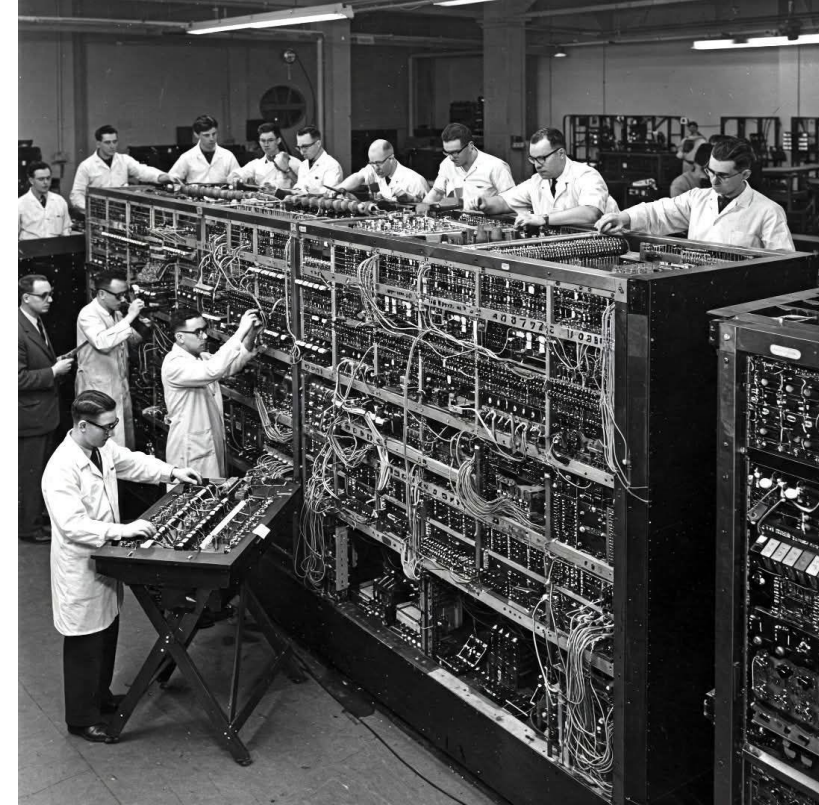


コンピュータの歴史(2) 発明

- 🕒 5億年前 脳の誕生
- 🕒 700万年前 人類の誕生
- 🕒 3,000年前 数学の誕生
- 🕒 20世紀 コンピュータ誕生
 - 1948年 半導体トランジスタの発明
 - 1949年 ノイマン型アーキテクチャの発明
 - 1958年 集積回路の発明



集積回路
1cm角のチップに全長
数km の配線を集積



ENIAC (1946年)
27トン, 150kW, 真空管17,000本
人手によるはんだ付け500万箇所

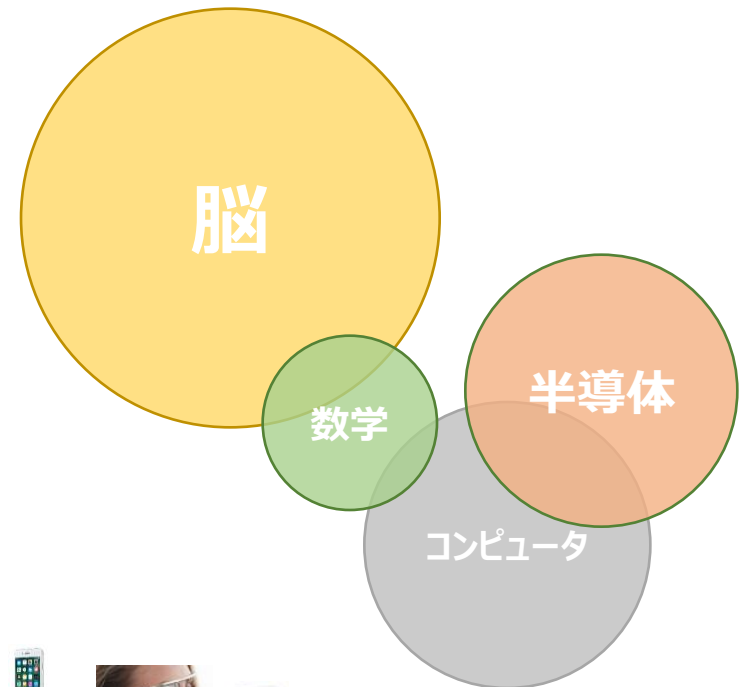
- 課題1 : デバイスの信頼性問題
- 課題2 : 規模制約の問題
- 課題3 : 大規模システムの接続問題



半導体トランジスタ

コンピュータの歴史(3) 成長

- 🕒 5億年前 脳の誕生
- 🕒 700万年前 人類の誕生
- 🕒 3,000年前 数学の誕生
- 🕒 20世紀 コンピュータ誕生
 - 1948年 半導体トランジスタの発明
 - 1949年 ノイマン型アーキテクチャの発明
 - 1958年 集積回路の発明
- 🕒 1980年～ ムーアの法則で成長



研究所
1975年



設計室
1985年



オフィス
1995年



家
2005年



ポケット
2015年

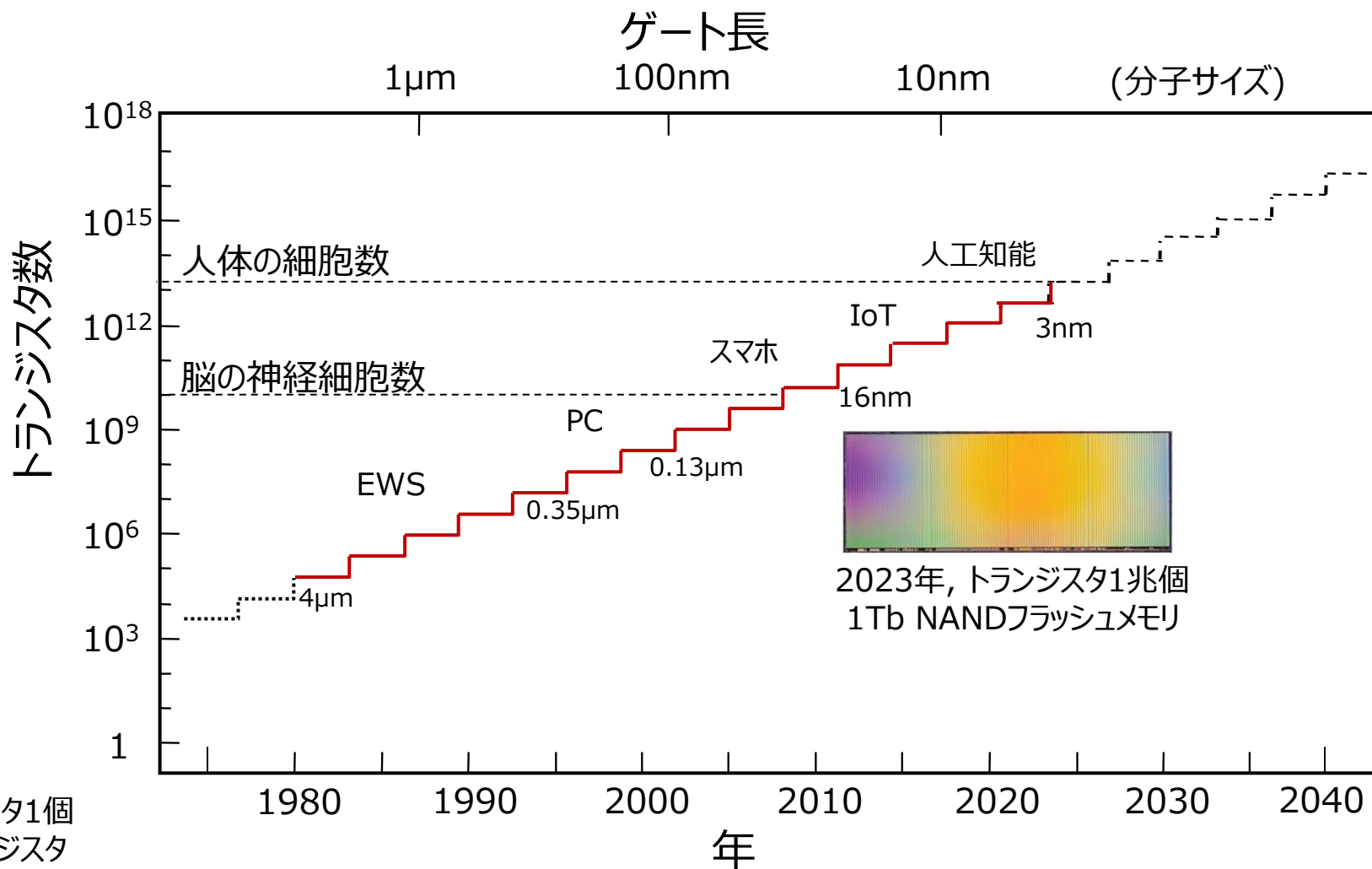


眼鏡 体内

コンピュータがダウンサイジング

ムーアの法則

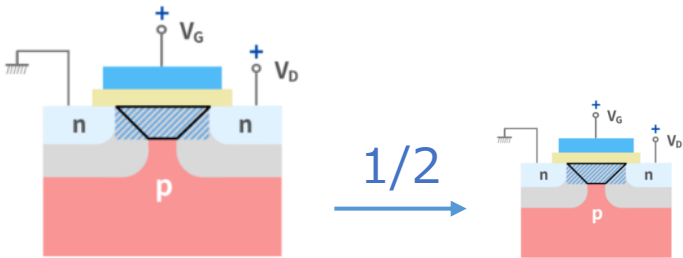
微細化による集積度改善：3年で4倍（10年100倍、15年1,000倍、30年100万倍、60年で1兆倍）



1950年, トランジスタ1個
Ge合金接合トランジスタ

1958年, 集積回路の発明

スケーリングシナリオ

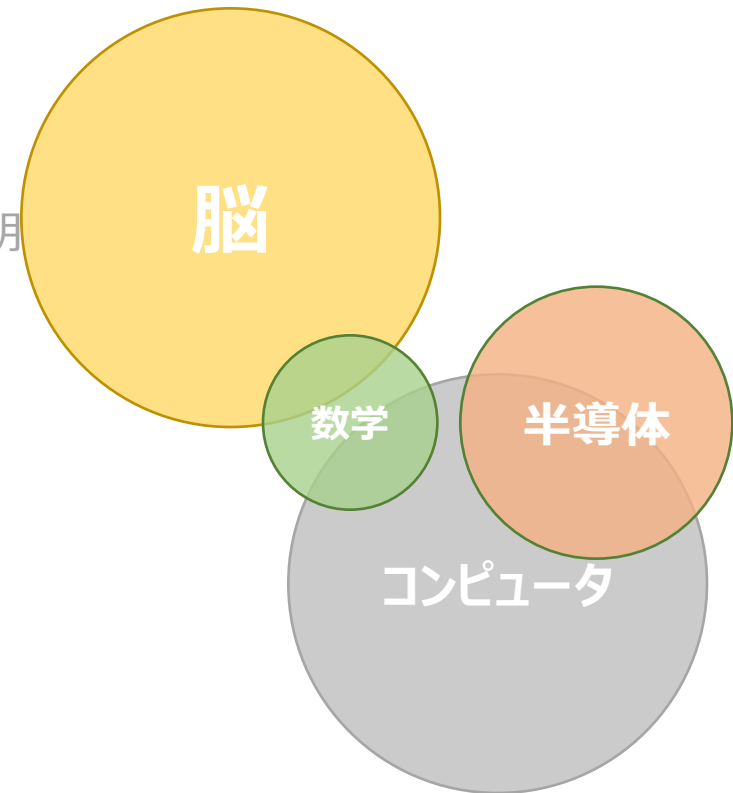


寸法 [m]	x	電界一定（理想）	電圧一定（現実）
ゲート絶縁膜厚 [m]	d	1/2	1/2
電圧 [V]	V	1/2	1
電界 [V/m]	$E \propto V/d$	1 注1	2
電流 [A]	$I \propto V^2/d$ 注5	1/2	2
抵抗 [Ω]	$R \propto V/I$	1	1/2
容量 [F]	$C \propto x^2/d$	1/2	1/2
遅延 [s]	$\tau \propto RC$	1/2	1/4 注2
電力 [W]	$P \propto CV^2/\tau$	1/4	2
電力密度 [W/m ²]	$p \propto P/x^2$	1 注3	8 注4

注1：電界効果トランジスタの動作が保証される
 注2：動作速度がより大きく改善される
 注3：熱の問題を生じない、 注4：熱の問題を生じる
 注5： $[q/s]=[q/m][m/s] \propto \{(xx/d)V)/x\}E=V^2/d$

コンピュータの歴史(4) 成長の限界

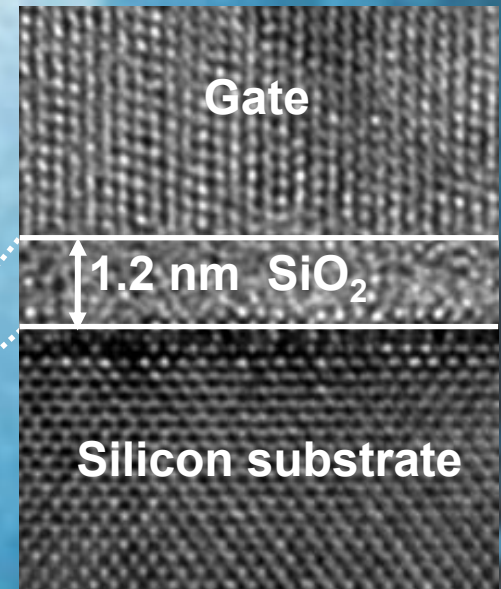
- 🕒 5億年前 脳の誕生
- 🕒 700万年前 人類の誕生
- 🕒 3,000年前 数学の誕生
- 🕒 20世紀 コンピュータ誕生
 - 1948年 半導体トランジスタの発明
 - 1949年 ノイマン型アーキテクチャの発明
 - 1958年 集積回路の発明
- 🕒 1980年～ ムーアの法則で成長
- 🕒 2010年
 - トランジスタ数 > 脳の神経細胞数
 - エネルギー限界 (ダークシリコン)
 - 微細化限界



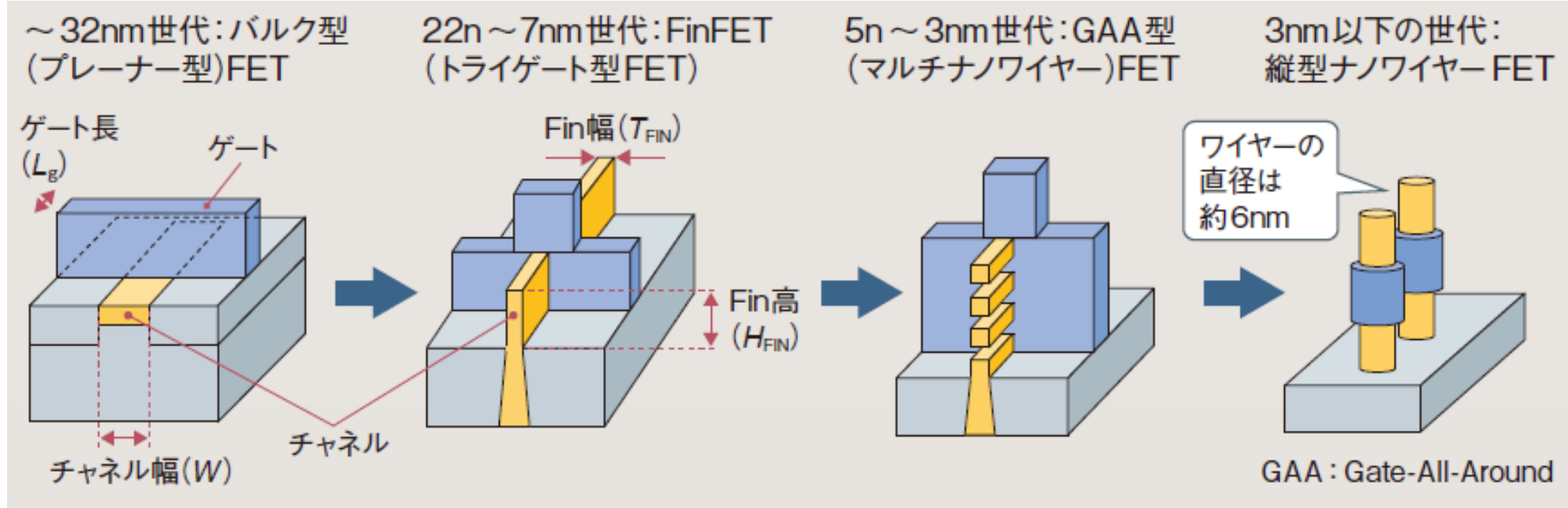
ゲート酸化膜の薄化限界（トンネル電流）
ゲートの支配力低下（短チャネル効果）
微細化限界、構造改革の必要性

Gate
50 nm

Oxide



トランジスタの構造改革

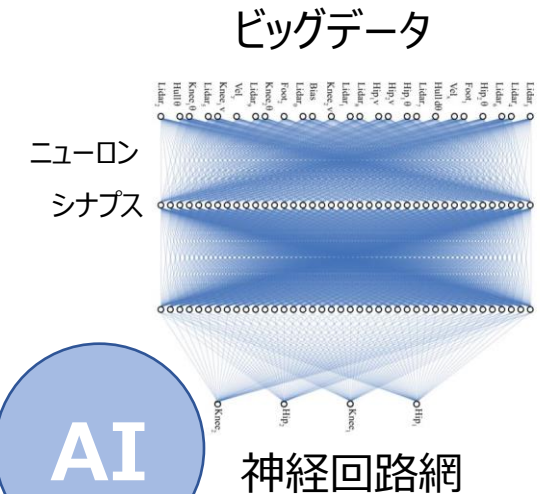
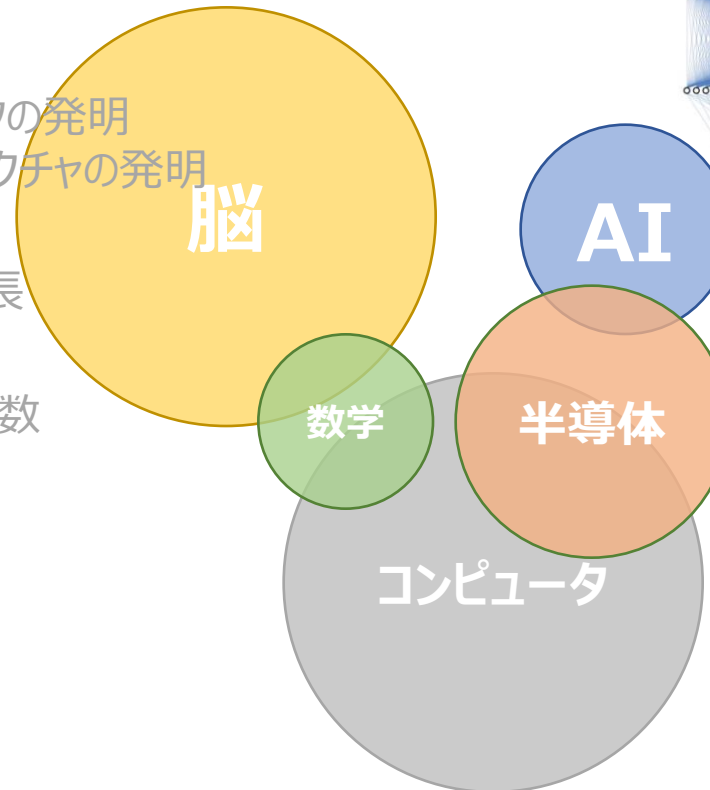


ゲートの支配力を高める構造改革

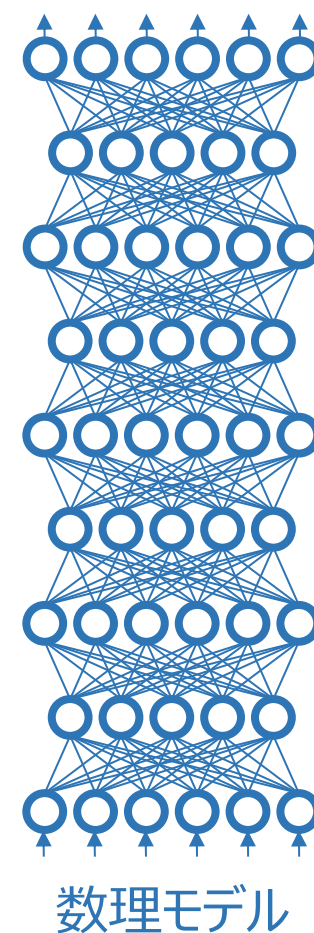
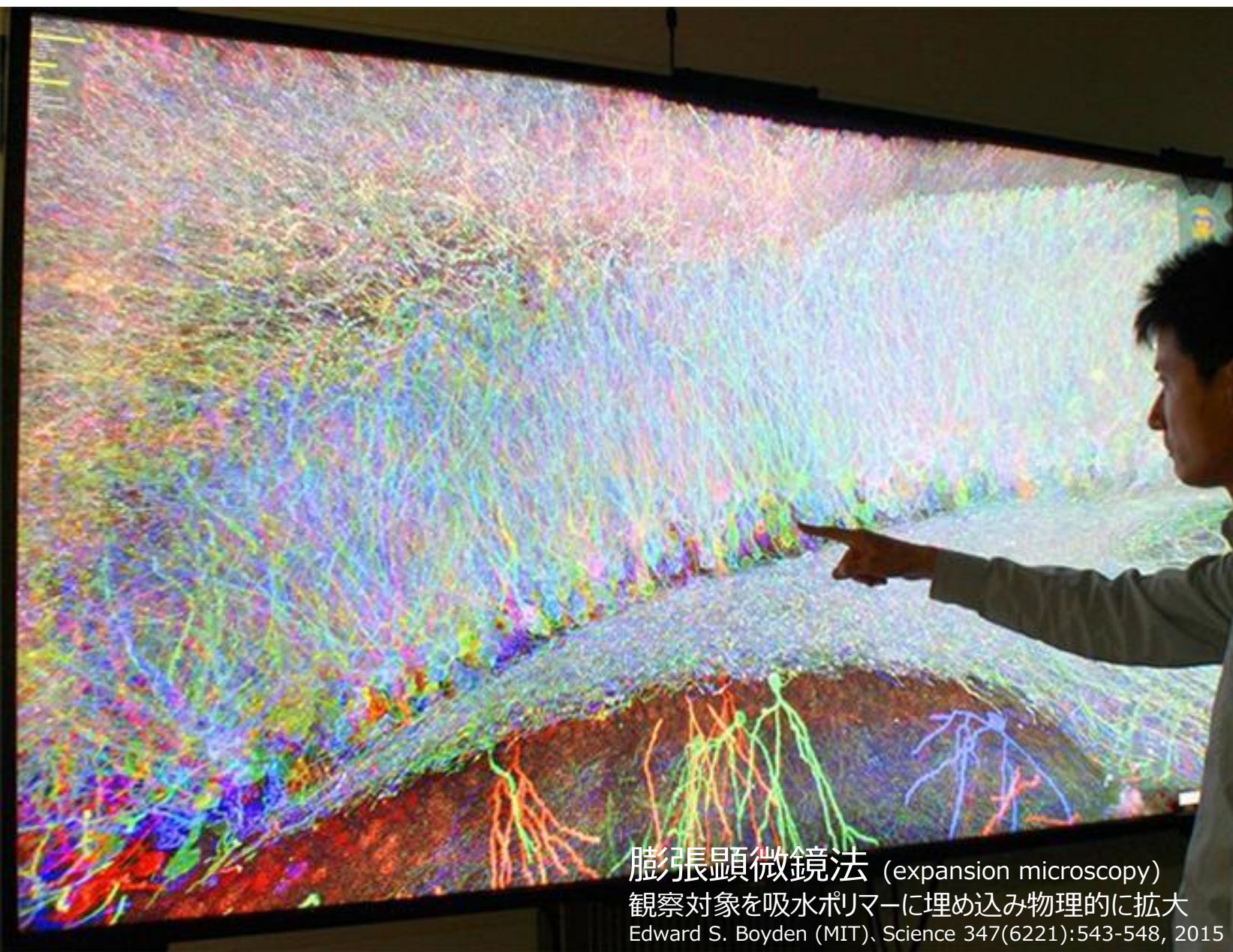
バルク(1本の指で押す) → Fin(2,3本の指で挟む) → GAA(5本の指で握る)

AIの歴史(1) 誕生

- 🕒 5億年前 脳の誕生
- 🕒 700万年前 人類の誕生
- 🕒 3,000年前 数学の誕生
- 🕒 20世紀 コンピュータ誕生
 - 1948年 半導体トランジスタの発明
 - 1949年 ノイマン型アーキテクチャの発明
 - 1958年 集積回路の発明
- 🕒 1980年～ ムーアの法則で成長
- 🕒 2010年
 - トランジスタ数 > 脳の神経細胞数
 - エネルギー限界、微細化限界
 - AI誕生
 - インターネット、ビッグデータ
 - 神経回路網、機械学習

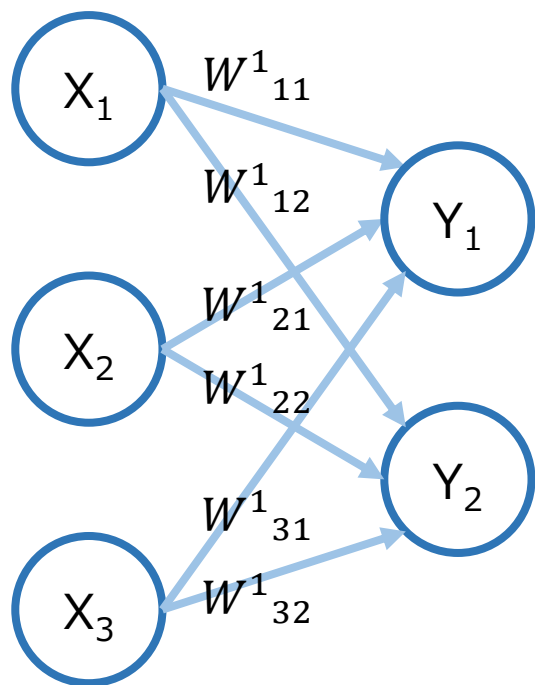


神経回路網



数理モデルと行列演算

数理モデル



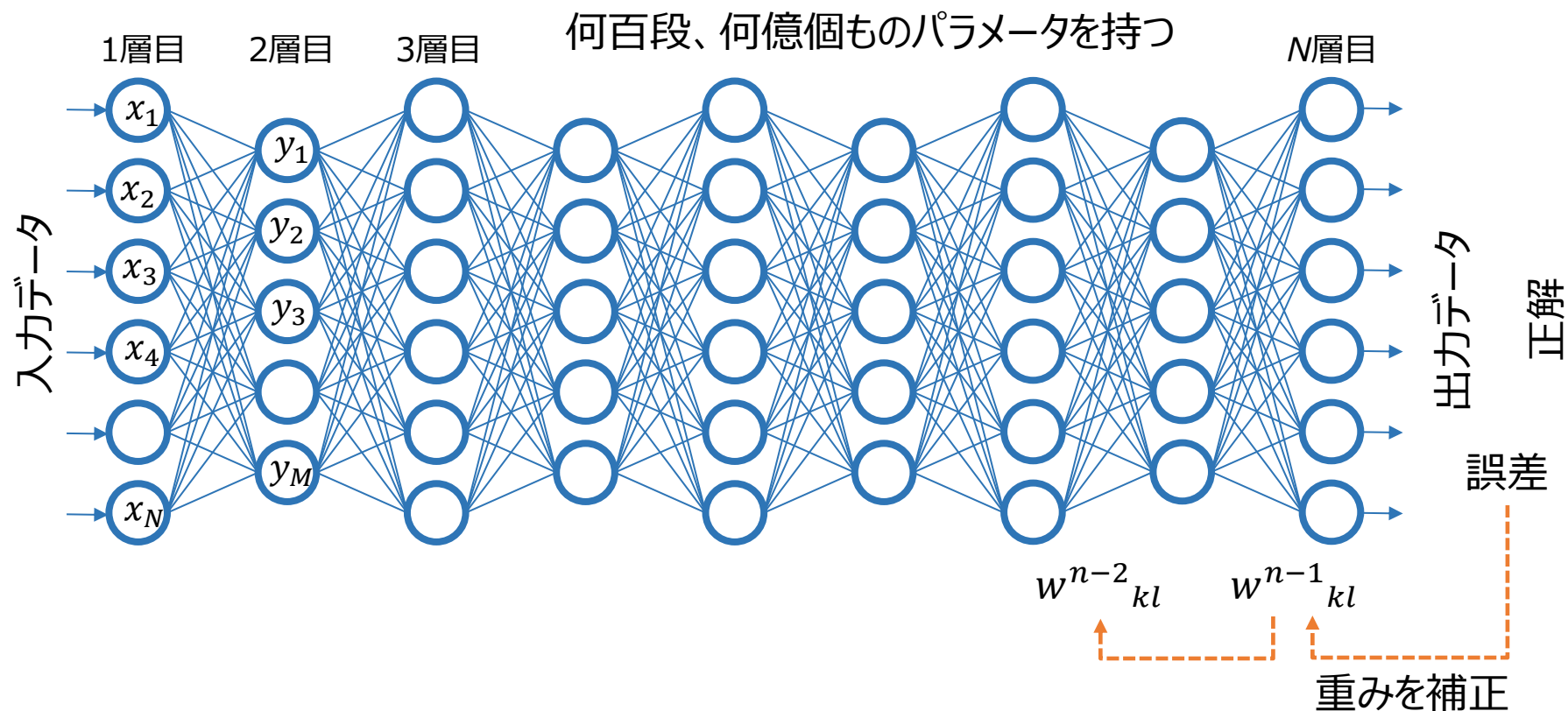
ある程度以上の信号を受け取ったら発火する

行列演算

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w^1_{11} & w^1_{21} & w^1_{31} \\ w^1_{12} & w^1_{22} & w^1_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

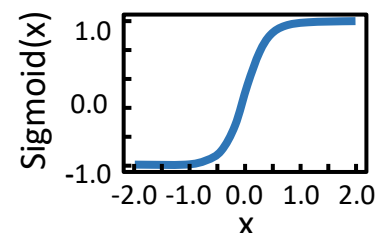
行列の積和演算(掛け算と足し算)
をひたすら繰り返す

深層ニューラルネット(DNN)の機械学習



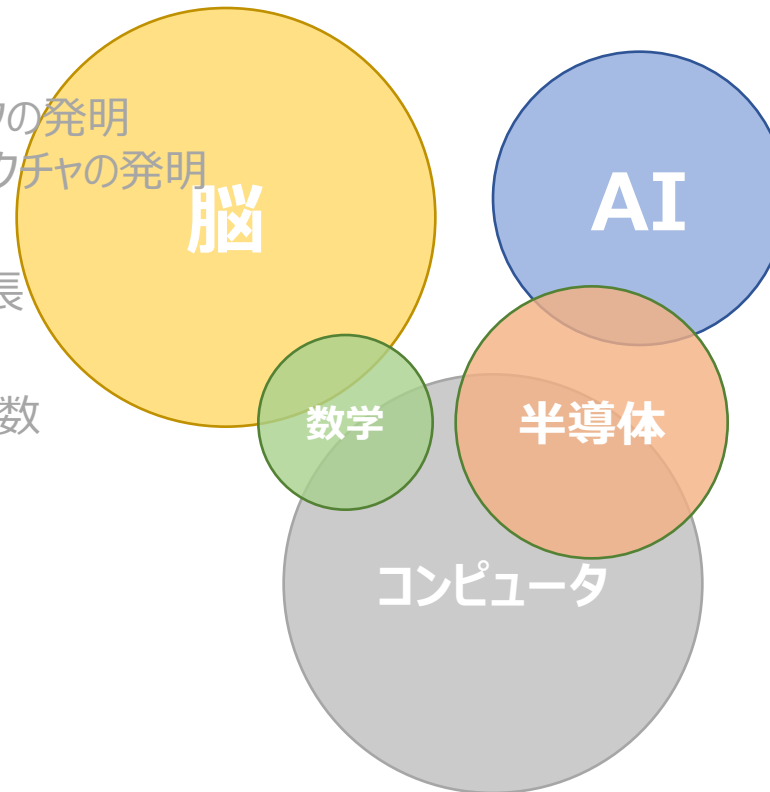
バックプロパゲーション(誤差逆伝播法)による機械学習

発火判定を微分可能な関数にした



AIの歴史(2) 成長

- 🕒 5億年前 脳の誕生
- 🕒 700万年前 人類の誕生
- 🕒 3,000年前 数学の誕生
- 🕒 20世紀 コンピュータ誕生
 - 1948年 半導体トランジスタの発明
 - 1949年 ノイマン型アーキテクチャの発明
 - 1958年 集積回路の発明
- 🕒 1980年～ ムーアの法則で成長
- 🕒 2010年
 - トランジスタ数>脳の神経細胞数
 - エネルギー限界、微細化限界
 - AI誕生
- 🕒 2020年 生成AI登場
LLMが巨大化



生成AI

- シャノンの情報理論(1948年)
ある事象が発生したときにそれがどれだけ驚きをもたらすかを情報量として定量化
- 生成AI
情報量を計算しながら驚きの少ない語彙を連ねて文章を構成することで自然な文章を紡ぐ
- 知能とは何か？
人が書物を読み知識を共有することで意思疎通を深めるように、AIも多くの文献に触れることで高度な言語理解を獲得する
- AIの高度化
インターネットに集まるビッグデータを用いた学習過程でAIが高度化

大規模言語モデル(LLM)のスケーリング則

- 計算量、データ量、モデルの大きさ、が大きいほど誤差はべき乗則で小さくなる(典型がない)
- LLMは巨大なほど性能が良い (過学習はない)
- LLM開発競争：ChatGPT(OpenAI)、Gemini(Google)、Llama(Meta)

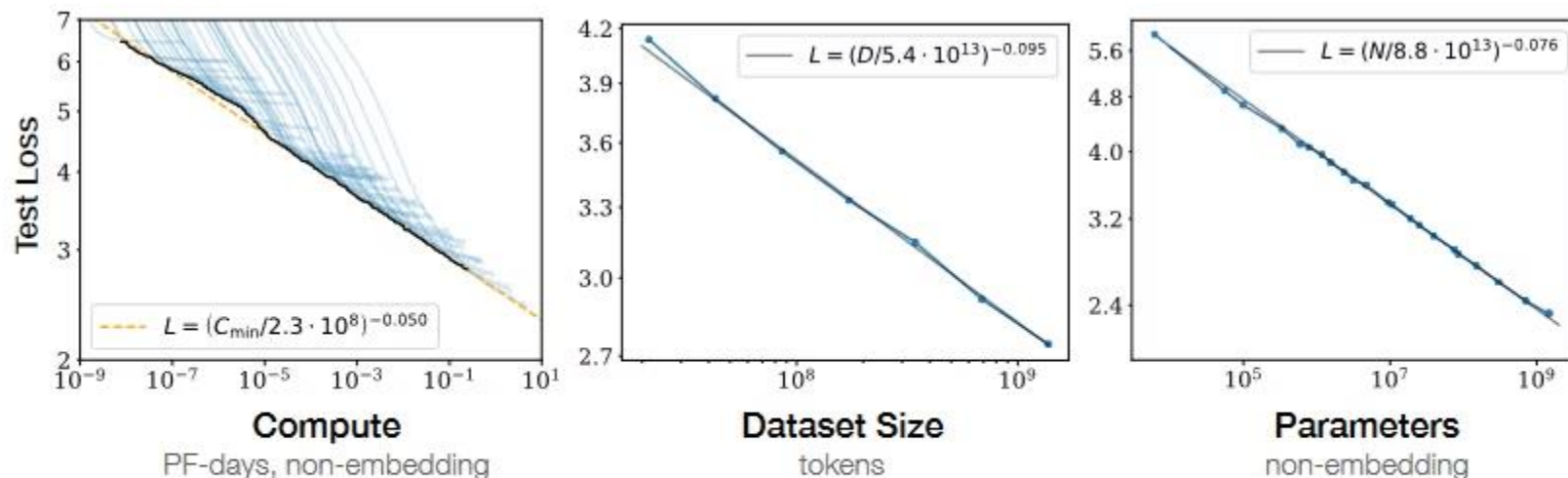
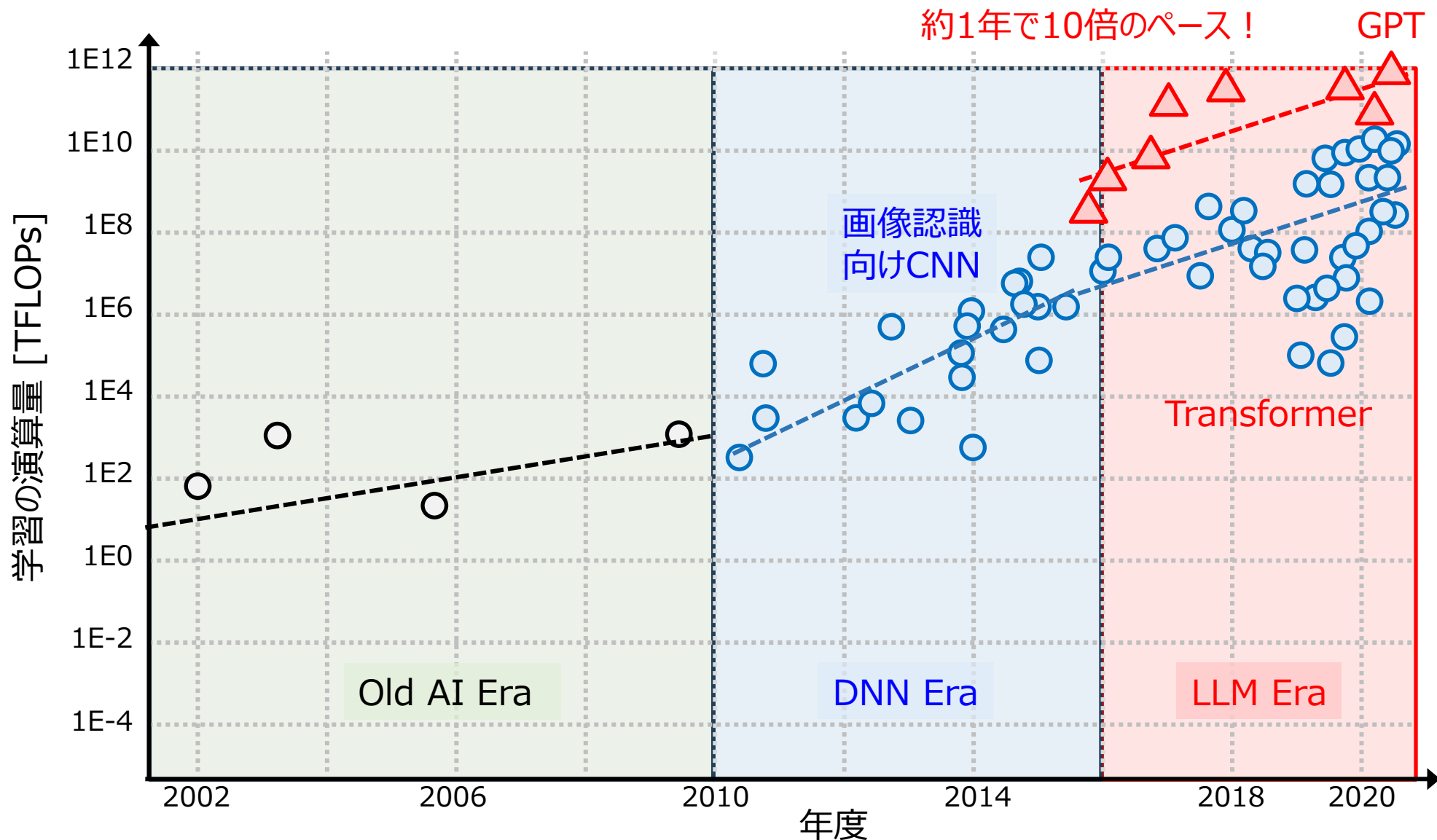


Figure 1 Language modeling performance improves smoothly as we increase the model size, dataset size, and amount of compute² used for training. For optimal performance all three factors must be scaled up in tandem. Empirical performance has a power-law relationship with each individual factor when not bottlenecked by the other two.

“Scaling Laws for Neural Language Models,” J. Kaplan, et al, 2020. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.08361>

学習の計算量が爆発的増加



Chat GPTにおける膨大なパラメータ数と積和演算

GPT-4 → GPT-5

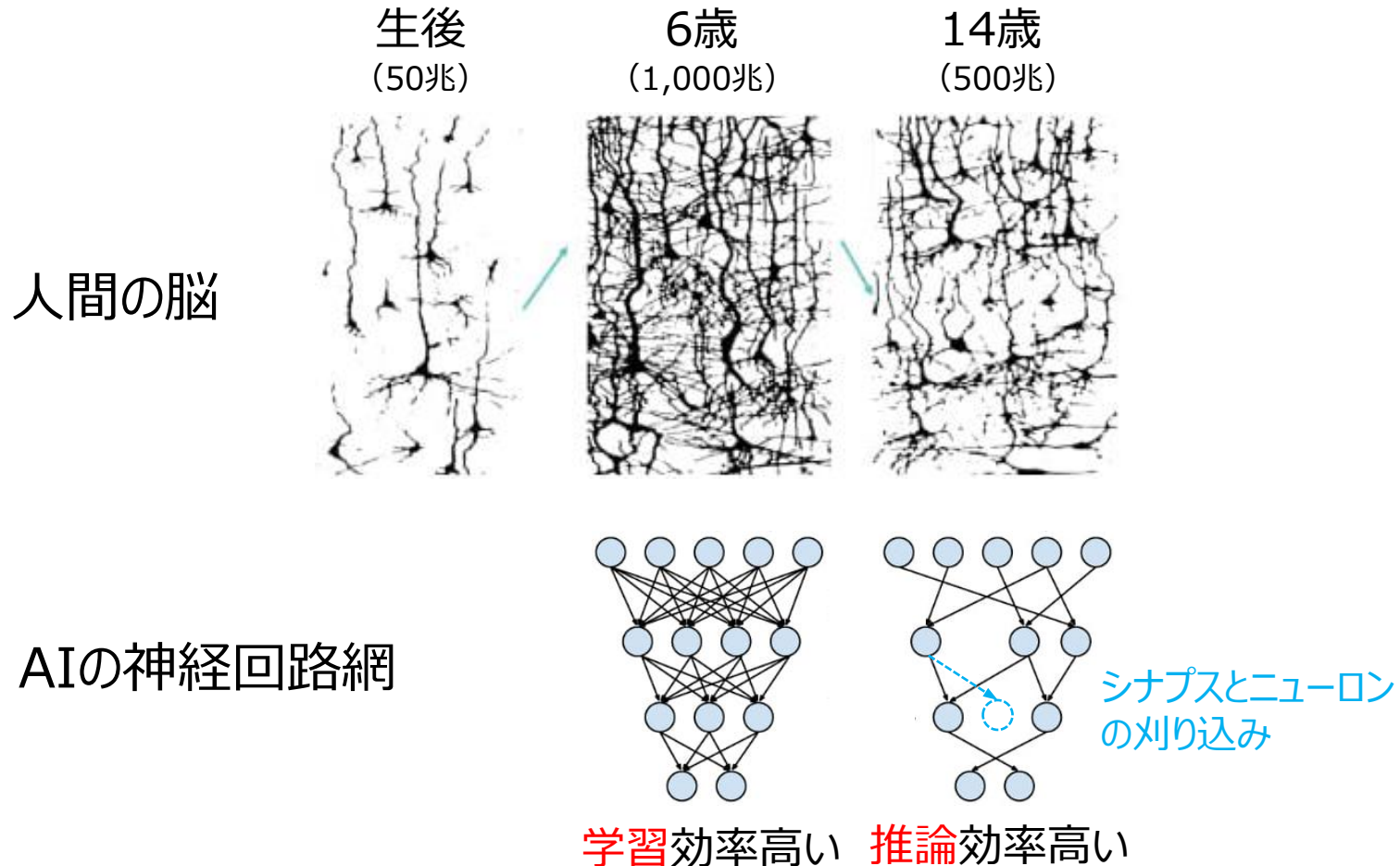
パラメータ：1.8兆個(3.6 TB) → 52兆個(104 TB*)

積和演算：20兆回

(* 256GBのDDRモジュールが416モジュール必要)

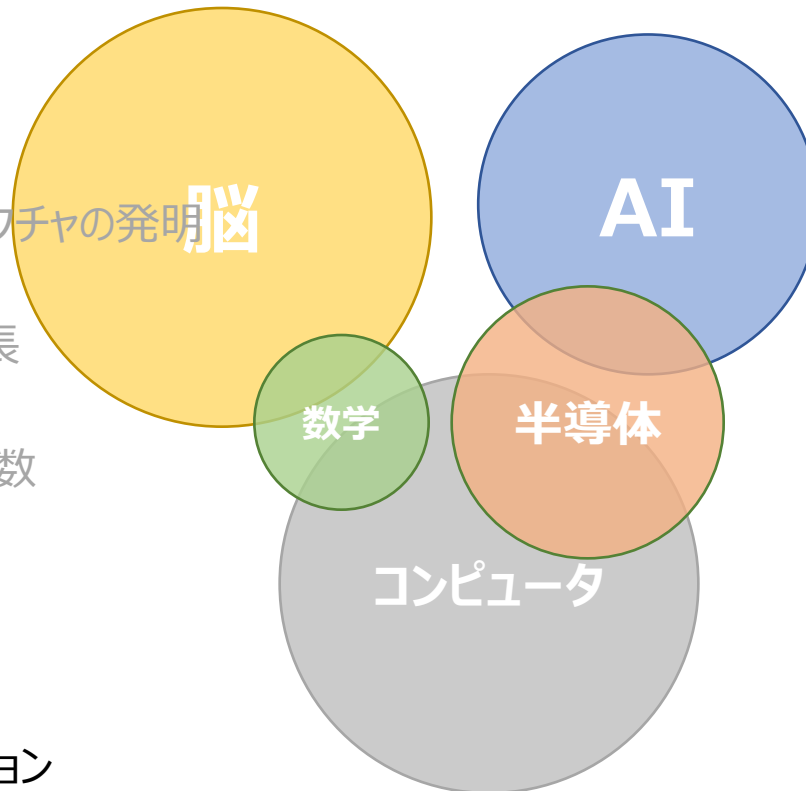
推論：刈り込み

- 学習：全結合だから学習効率が高いが、エネルギー効率が低い、GPUが適する
- 推論：刈り込まれているのでエネルギー効率は高いが、学習効率が低い、GPUは適さない



AIの歴史(3) 民主化

- 🕒 5億年前 脳の誕生
- 🕒 700万年前 人類の誕生
- 🕒 9万年前 阿蘇カルデラの出現
- 🕒 3,000年前 数学の誕生
- 🕒 20世紀 コンピュータ誕生
 - 1948年 トランジスタの発明
 - 1949年 ノイマン型アーキテクチャの発明
 - 1958年 集積回路の発明
- 🕒 1980年～ ムーアの法則で成長
- 🕒 2010年
 - トランジスタ数>脳の神経細胞数
 - エネルギー限界
 - AI誕生
- 🕒 2020年 生成AI・LLM
刈り込んで推論
- 🕒 2025年 民主化、イノベーション



民主化がイノベーションを加速する

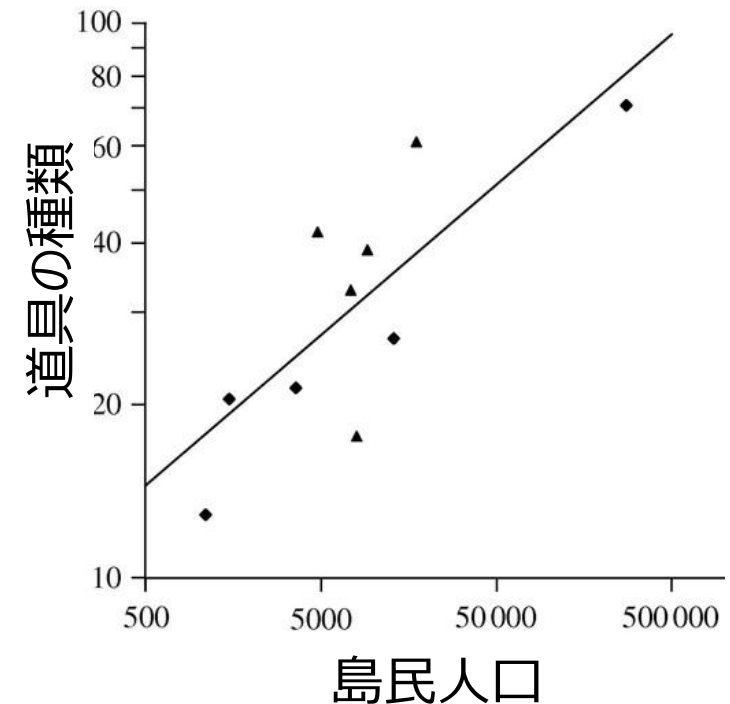
- イノベーションはアイデアの交配で生まれる
- 集団脳がイノベーションを加速する

- 現代の道具は多くの人々のアイデアと多くの材料が組み合わさって構成される



『繁栄 明日を切り拓くための人類10万年史』マット・リドレー

- 南太平洋で人口が多い島ほど多くの道具が用いられている（集団脳）

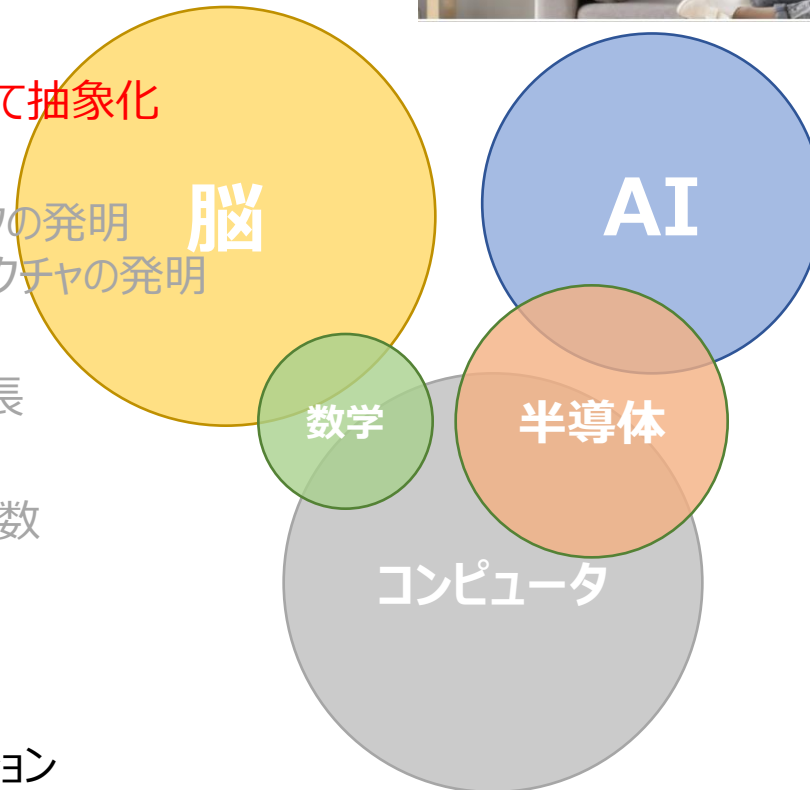


ハーバード大学の人類進化生物学者 ジョセフ・ヘンリック教授
"Population size predicts technological complexity in Oceania"

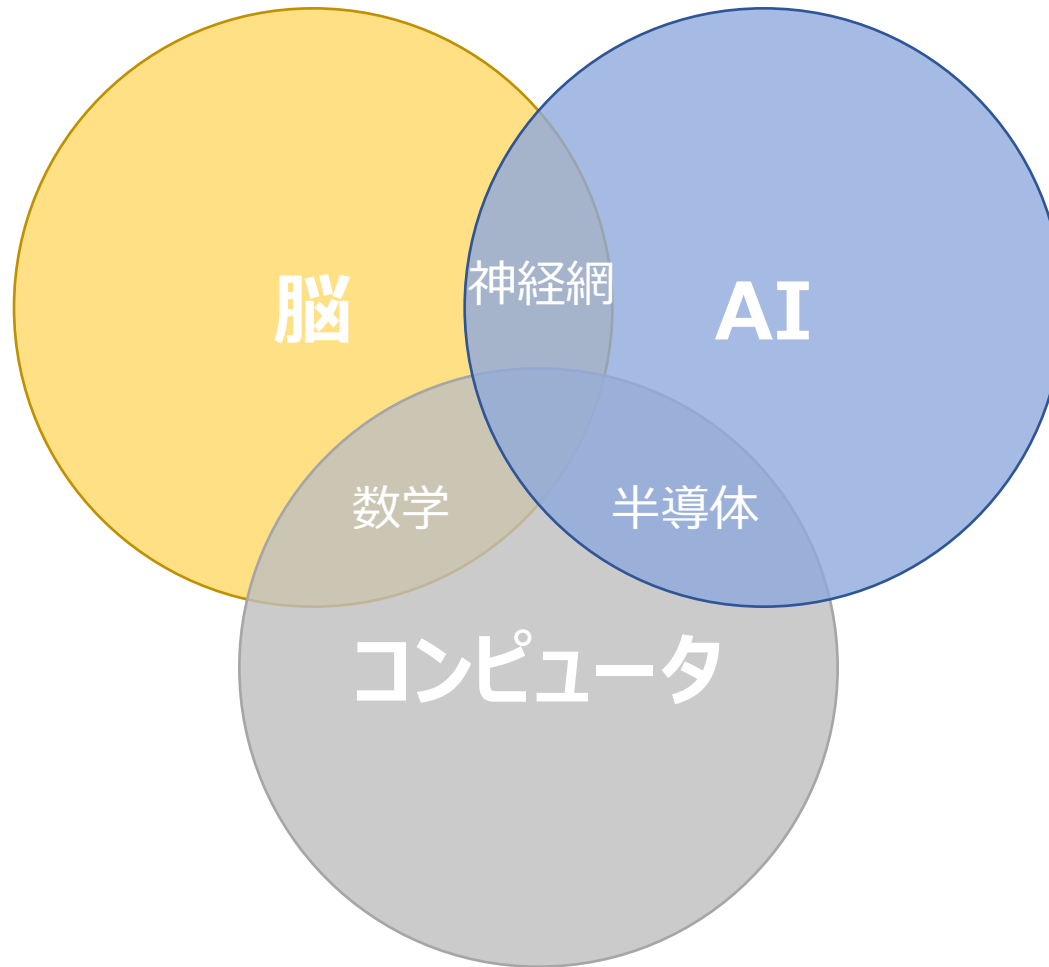
AIの歴史(4) フィジカルインテリジェンス



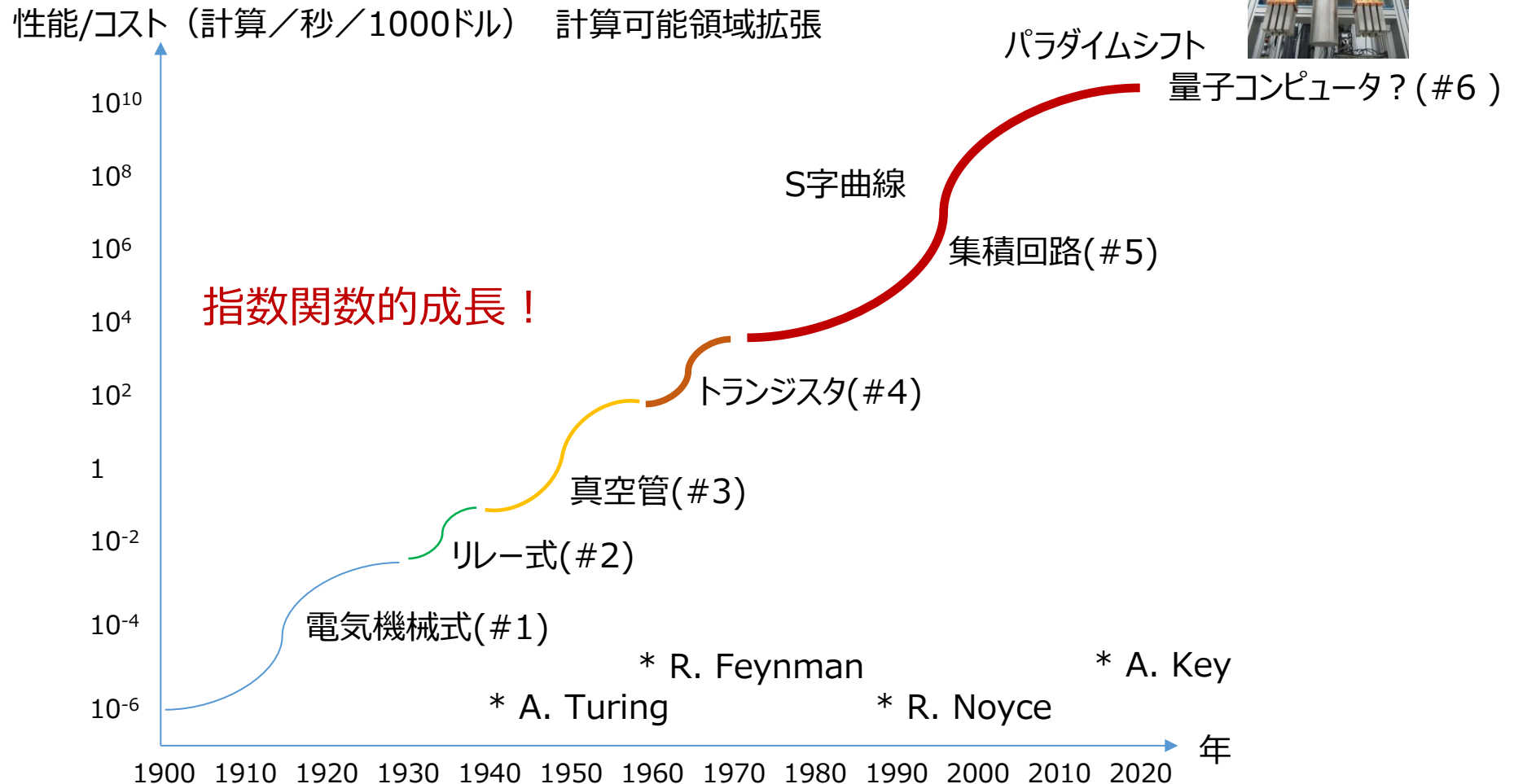
- 🕒 5億年前 脳の誕生
- 🕒 700万年前 人類の誕生
- 9万年前 阿蘇カルデラの出現
- 🕒 3,000年前 数学の誕生
 身体性を脱ぎ棄てて抽象化
- 🕒 20世紀 コンピュータ誕生
- 1948年 半導体トランジスタの発明
- 1949年 ノイマン型アーキテクチャの発明
- 1958年 集積回路の発明
- 🕒 1980年～ ムーアの法則で成長
- 🕒 2010年
 トランジスタ数>脳の神経細胞数
 エネルギー限界
 AI誕生
- 🕒 2020年 生成AI・LLM
- 🕒 2025年 民主化、イノベーション
- 🕒 2030年 身体を備えて人類と対峙
 第4次産業革命への期待と人類への脅威といった不安



脳とコンピュータとAIの進化の連鎖



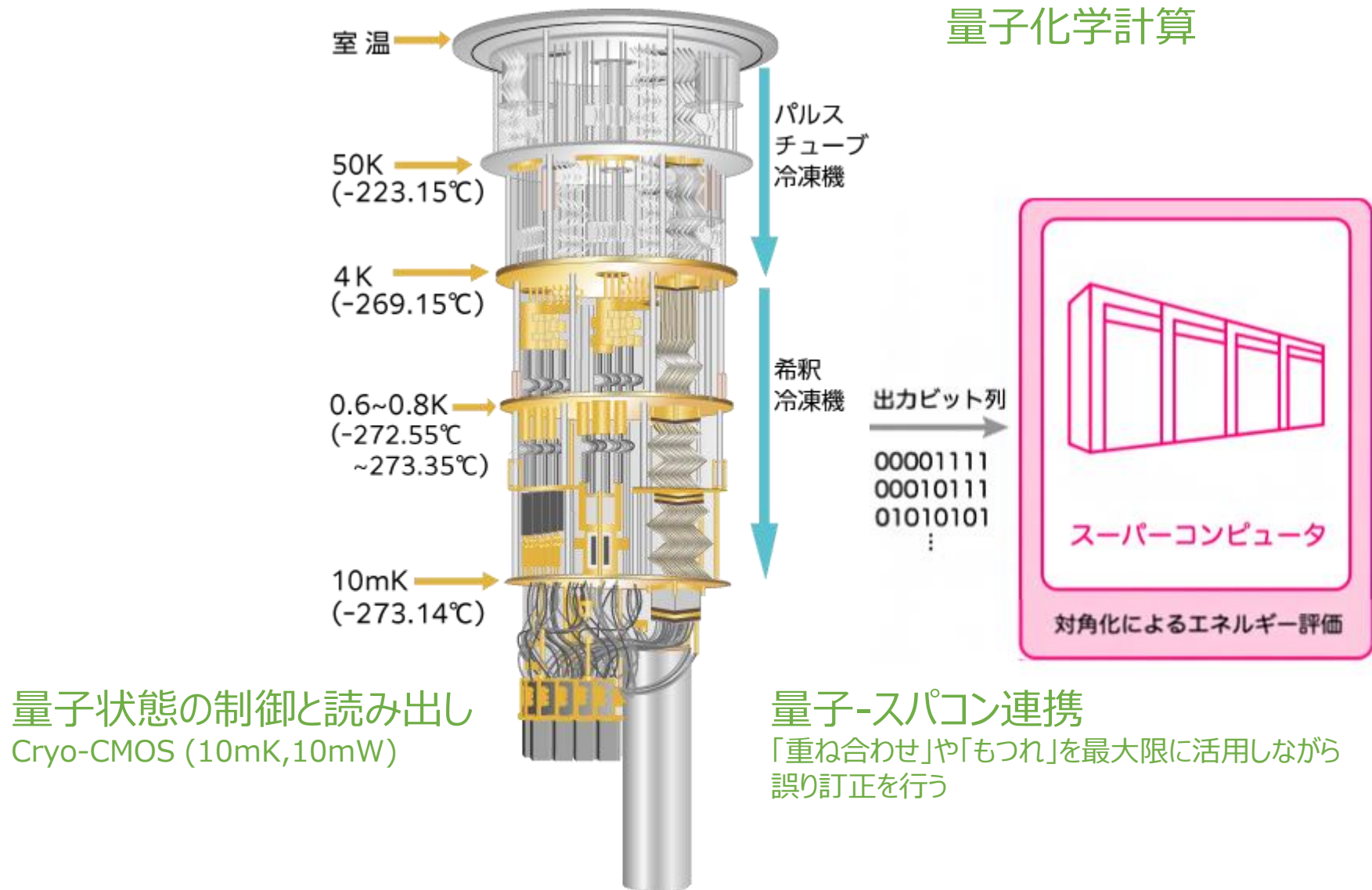
コンピュータのパラダイムシフト



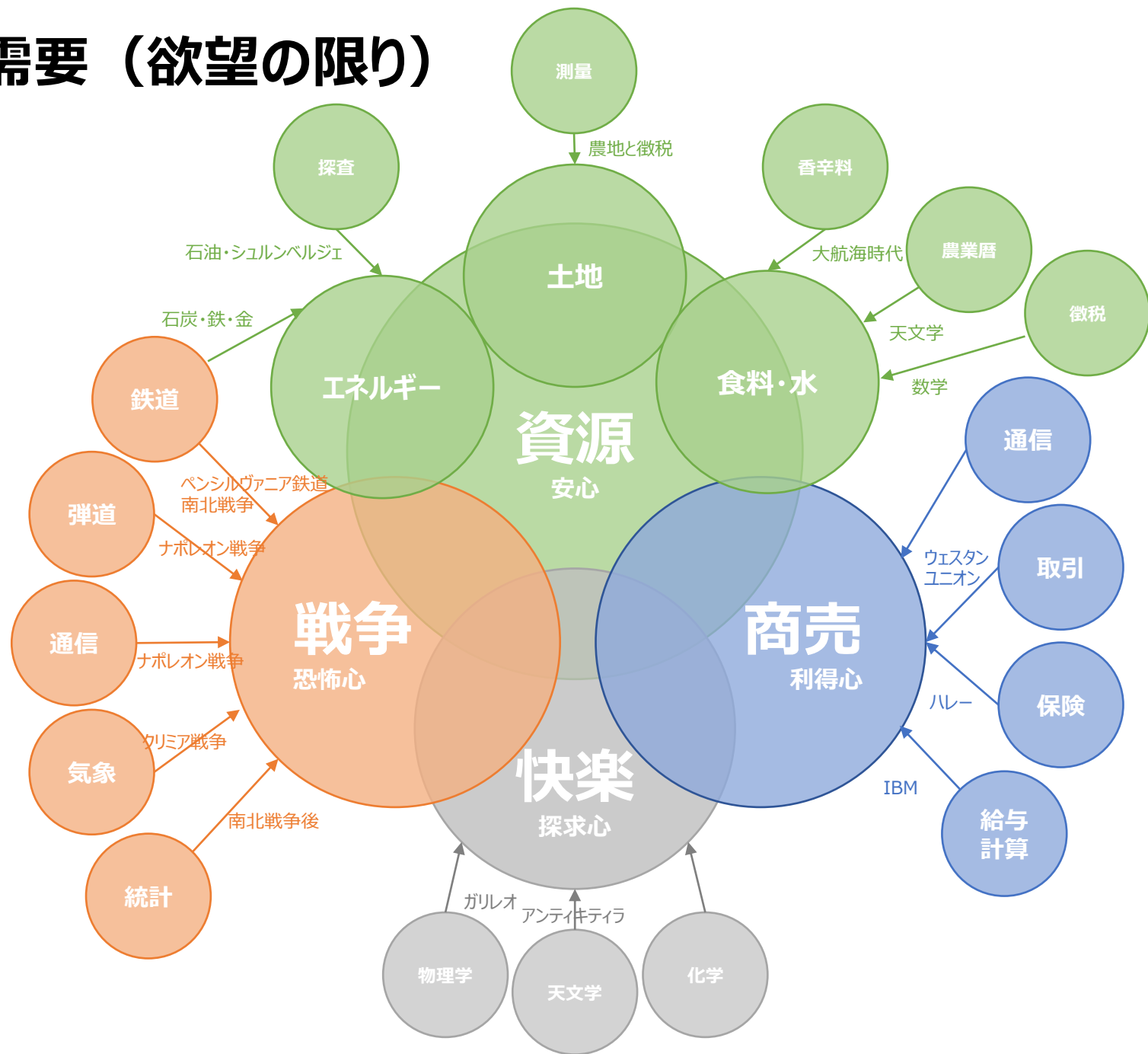
"Sometimes it is the people no one can imagine anything of who do the things no one can imagine." (Alan Turing)

「誰も予想しなかった人物が誰も想像しなかった偉業を成し遂げる事だってある」

半導体と量子コンピュータ



計算需要（欲望の限り）



アジェンダ

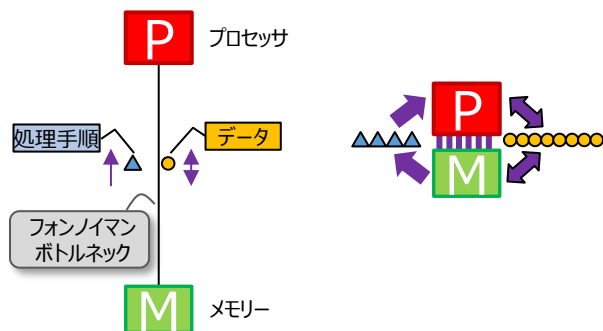
1. 機会と危機、AIとエネルギー
2. 知能を考える
- 3. エネルギーを考える**
4. 教育を考える
5. 不確実な時代を生きる

エネルギー効率の改善

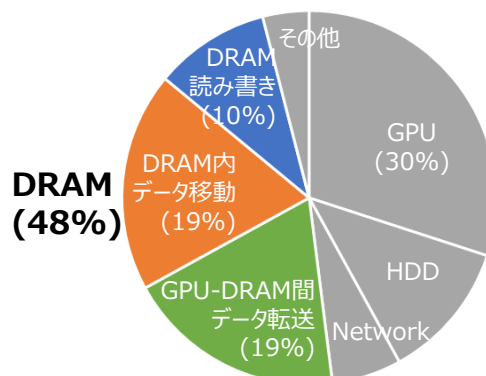
- ・ フォンノイマンボトルネック(DRAMアクセス)が大半の電力を消費、3D実装で大幅改善
- ・ GPUの電力低減には先端トランジスタが必要

フォンノイマンボトルネック

2D実装 → 3D実装

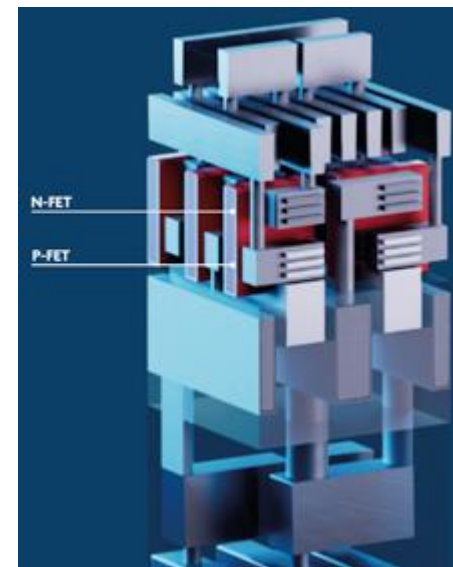


GPUサーバーの消費電力

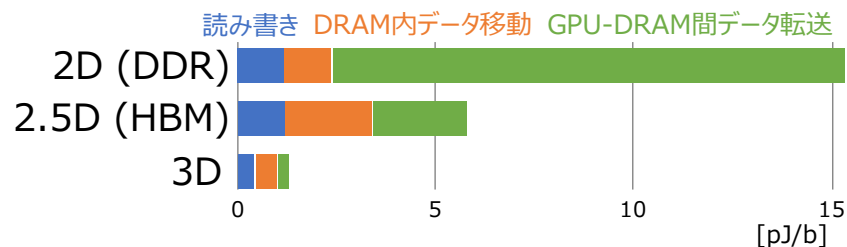


[Ref] ACM Trans. Architecture and Code Opt. vol. 10, Issue 4, pp. 1-25, 2013

先端トランジスタ



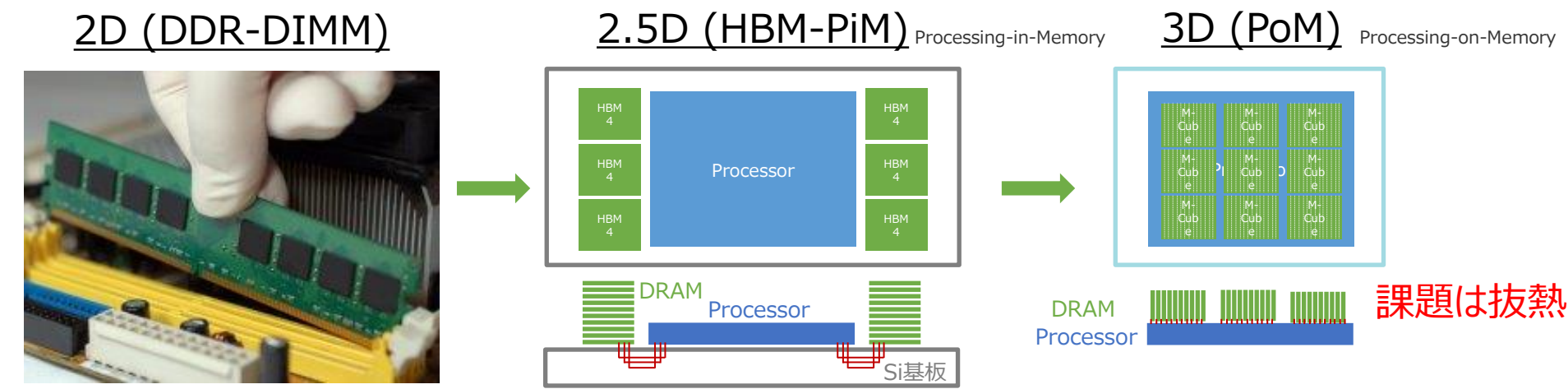
DRAMの消費エネルギー



[Ref] M. O'Connor (NVIDIA),
"Fine-Grained DRAM: Energy-Efficient DRAM for Extreme Bandwidth Systems,"
IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture, 2017.

2.5Dから3Dへ

- DIMMからHBM(2.5D)でデータ転送エネルギーは1/4.5に低減
- 2.5Dから3Dでデータ転送エネルギーをさらに1/20に低減

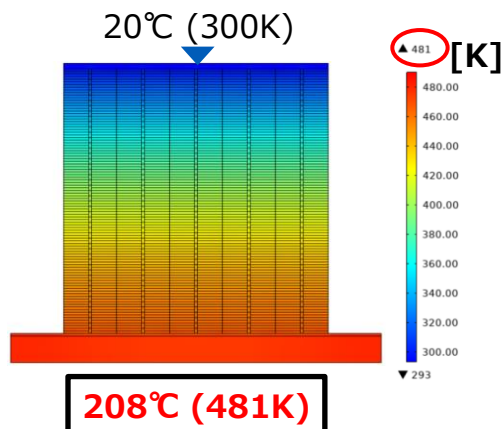
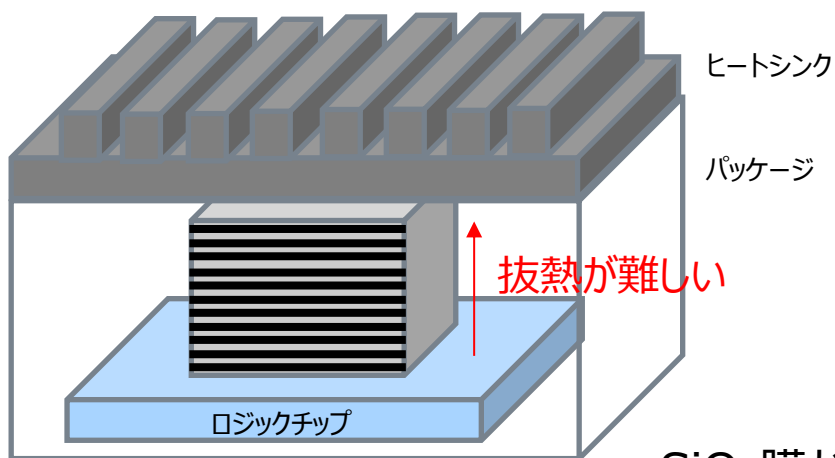


	DIMM	HBM 2.5D	3D
接続距離, 転送エネルギー	100 mm, 12.5 pJ/bit	10 mm, 1.2 pJ/bit	0.1 mm, 0.01 pJ/bit
線路終端, IOエネルギー	終端あり, 2.0 pJ/bit	終端あり, 2.0 pJ/bit	終端なし, 0.15 pJ/bit
合計エネルギー	14.5 pJ/bit	3.2 pJ/bit	0.16 pJ/bit

横置きから縦置きへ

- 横置きから縦置きにするとSi基板に沿って熱がヒートシンクに伝導しやすい
- スライスブレード型(縦置き)実装すると多数(100枚超)のチップを立方体に集積できる

パンケーキ型 (従来)



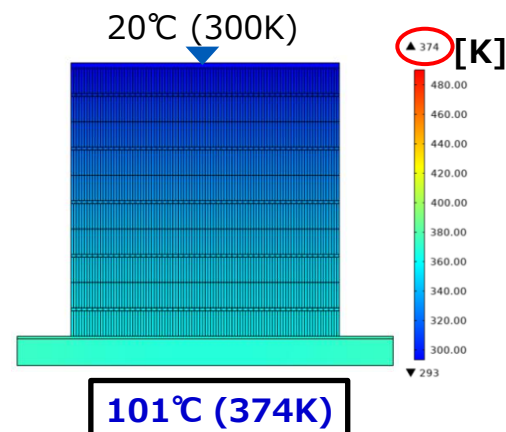
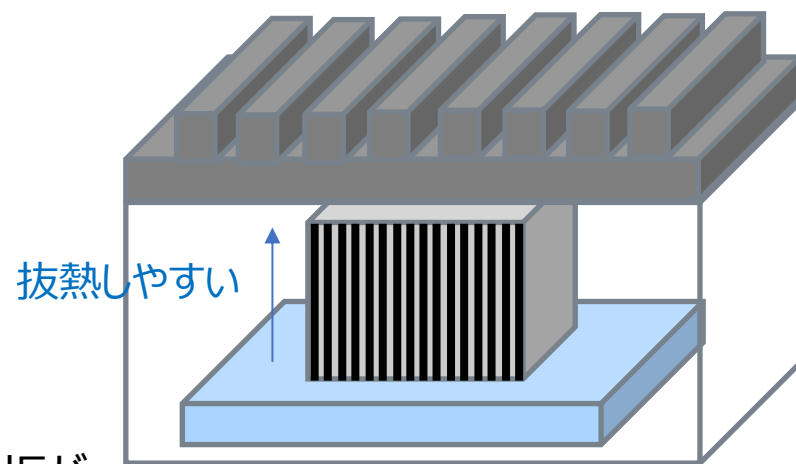
SiO₂膜が
何重にも重なり
熱伝導を妨げる

熱伝導率 [W/mK]

Si : 156

SiO₂ : 1

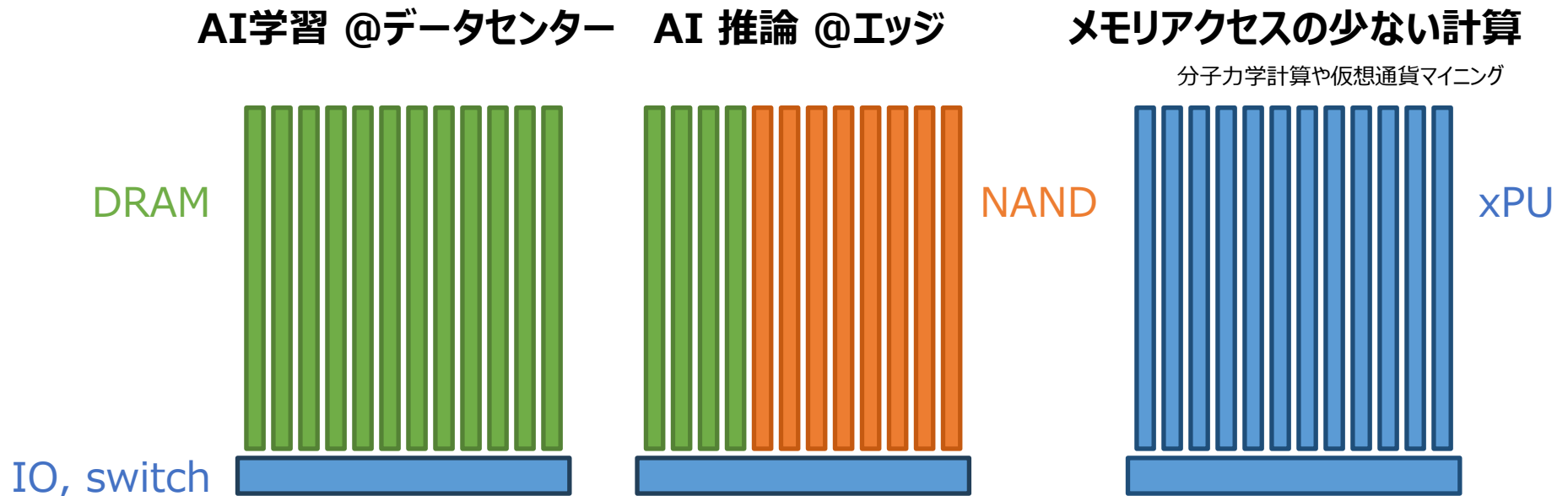
スライスブレード型 (提案)



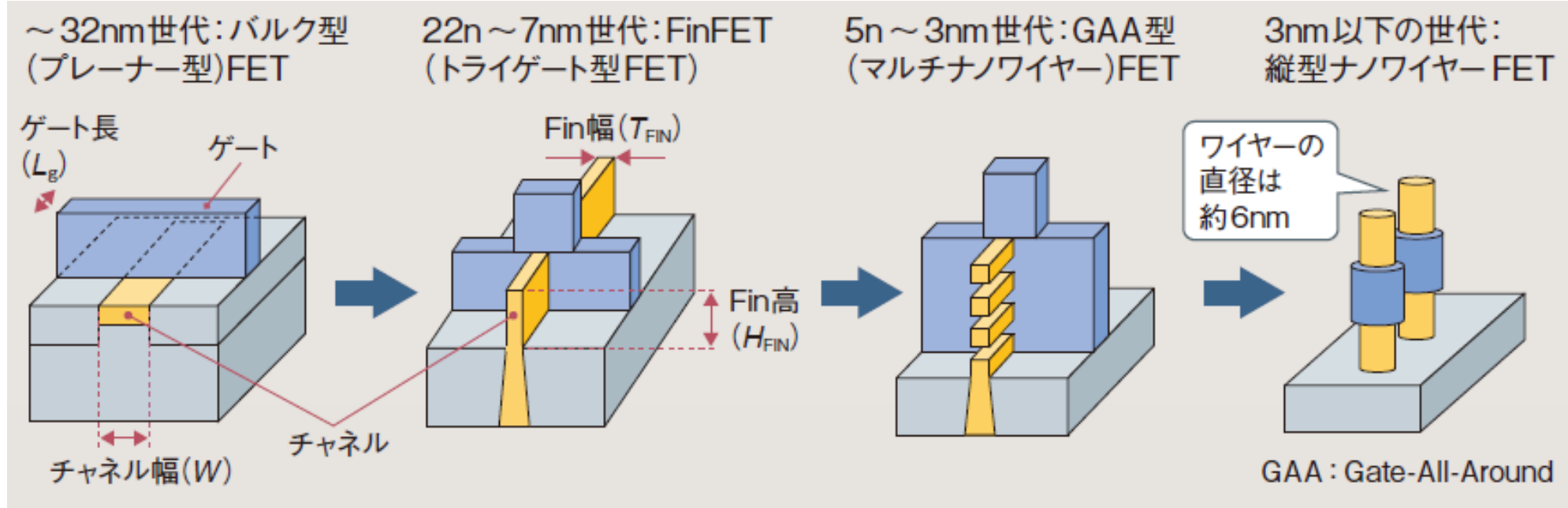
Si基板が
縦方向に
熱を伝導する

ChipからCubeへ

- 学習、推論、探索に適したCubeの構成
- DRAM Cube, Memory Cube, Logic Cube



トランジスタの構造改革と材料探索



ゲートの支配力を高める構造改革

バルク(1本の指で押す) → Fin(2,3本の指で挟む) → GAA(5本の指で握る)

チャネル薄化(4nm以下)で低下する移動度を改善するチャネル材料探索

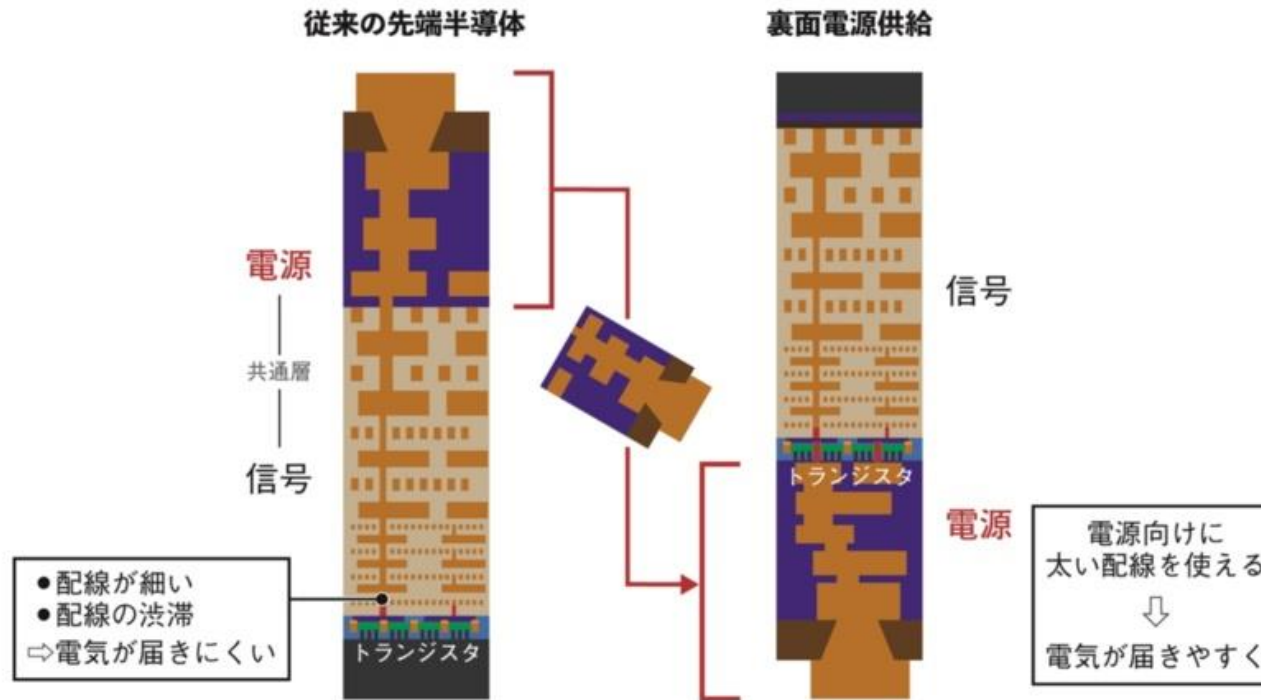
NMOS: 酸化物半導体 (InGaO , In_2O_3)

原子層堆積法(ALD)を用いて平坦度を高め、低欠陥密度で成膜

PMOS: 二次元半導体 (WSe_2 , MoS_2)

層状構造なので原子レベルで平坦かつ低欠陥密度、シリコンの表面散乱に比べて高移動度

配線の構造改革と材料探索



電源線の電力供給能力を高める構造改革

裏面電源供給 BSPDN (Backside Power Delivery Network)

信号線の高密度化を高める材料探索

低抵抗配線層 (Cu代替新材料, トポロジカル絶縁体)

BipからCMOSにゲームチェンジした頃と状況は似ているが…

1980年代年代以前：

バイポーラ、電力100W超、集積技術から実装冷却技術へ

1980年代年代以後：

CMOSに置き換わる（ゲームチェンジ、トップランナー交代）

電力0.1W以下に減少、実装冷却技術から集積技術に(電圧一定スケーリング)

現代：

CMOSの微細化限界、電力100W超、集積技術から実装冷却技術へ

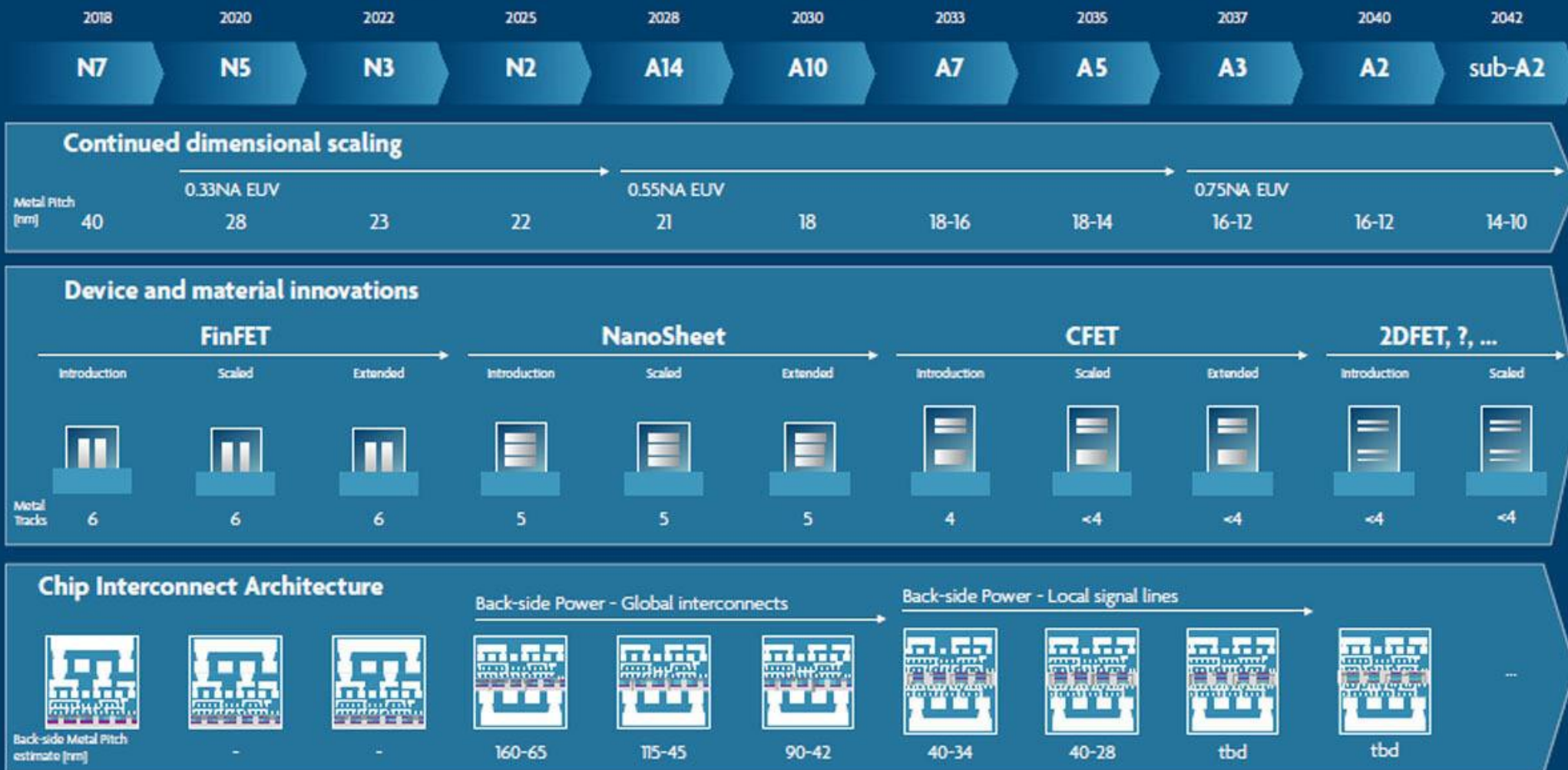
将来：

ゲームチェンジが起こると、投資・競争が無駄にならないか？

進化を続けるテクノロジー

出典：ITF World 2025 imec

Options extending the roadmap



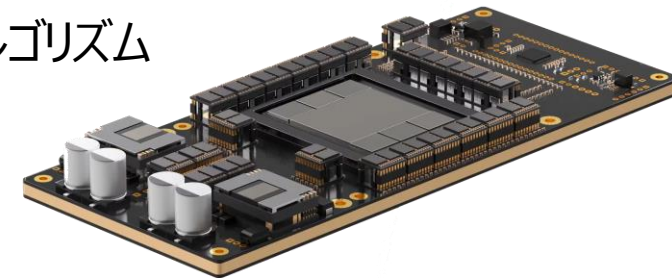
開発効率の改善

- 専用チップ(ASIC)は汎用チップに比べて桁違いにエネルギー効率が高い
- 専用チップの設計コストが急増、AIによる自動設計が必須 (*No human in the loop*)

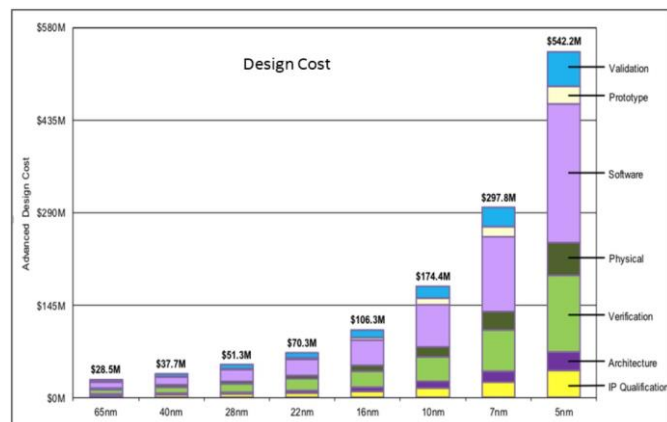
Etched.aiのAIチップ「Sohu」は160個のNVIDIA H100 GPUに相当する処理能力

Transformer特化型ASIC、HW/SWをスリム化

Transformer(2017年発表)は自然言語処理などの基本アルゴリズム



設計コストは微細化と共に飛躍的に増大



5nmの場合

200人, 2年, 800億円

4ヶ月, 20億円

設計

製造

AIを用いた自動設計

製造QTAT

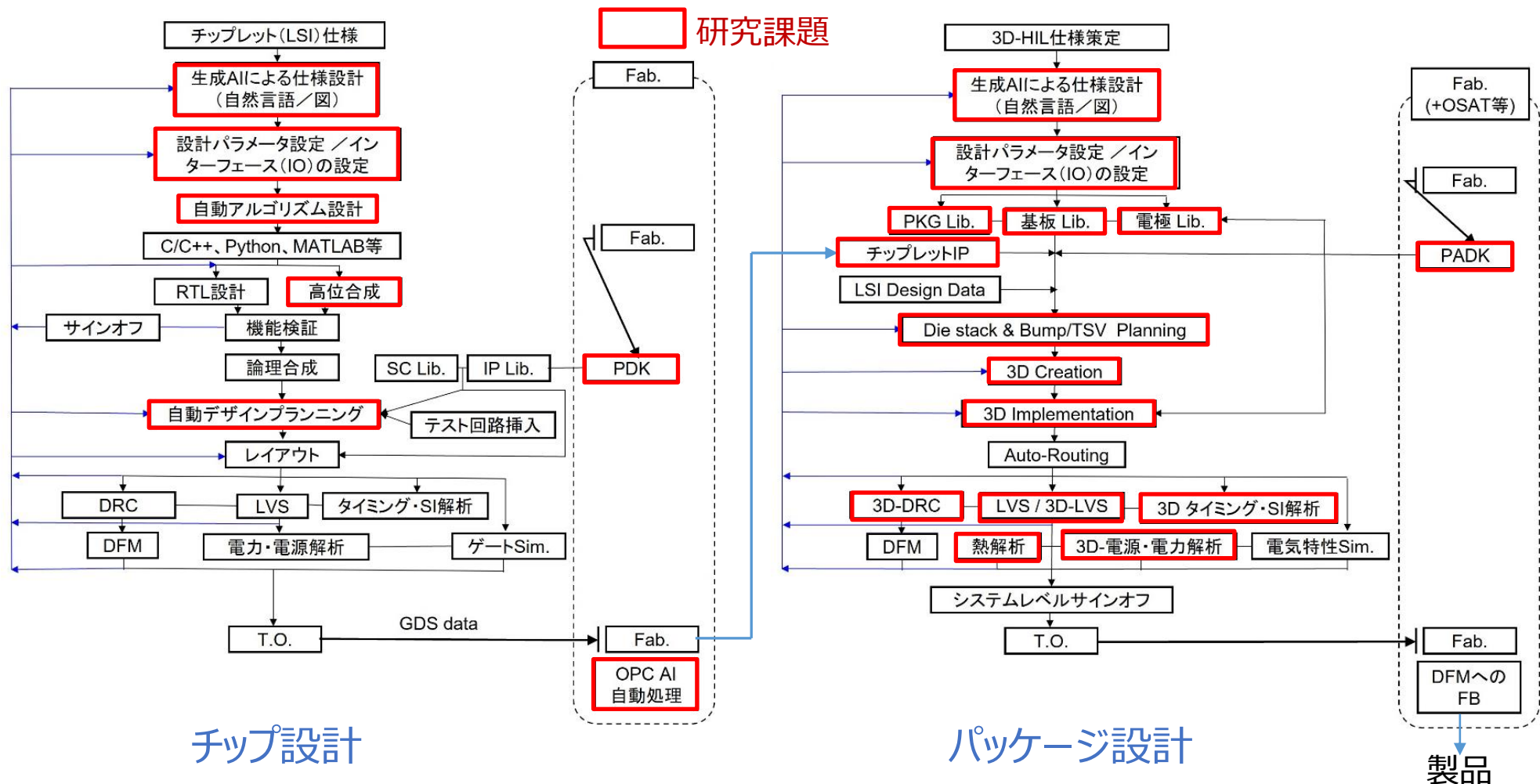
LSTC 技術研究組合 最先端半導体技術センター
Leading-edge Semiconductor Technology Center

JST 国立研究開発法人
科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency

Rapidus

複雑になる設計フロー

- チップ設計と同程度にパッケージ設計が複雑になる
- EDAの研究課題が山積、すべて米国に依存している点が日本の課題



チップレット時代の業界構造

- チップレット時代に水平分業はどうなるか？
- 設備投資から目利きの時代へ

	過去	1980年代 後半～	1990年代 後半～	2000年ごろ ～2025年	2025年 以降
ユーザー（企画やニーズ）	ユーザー （家電）	ユーザー （EWS）	ユーザー （PC）	ユーザー （スマホ）	ユーザー （AI、通信、クルマ）
半導体チップの設計	電機・電子 IDM	半導体 IDM	半導体 IDM	ファブレス	統合設計
前工程製造			OSAT	ファウンドリー	統合製造 Fab, OSAT, EMS
後工程製造				OSAT	チップレット （多様な業者）
基板組立		EMS	EMS	EMS	

アジェンダ

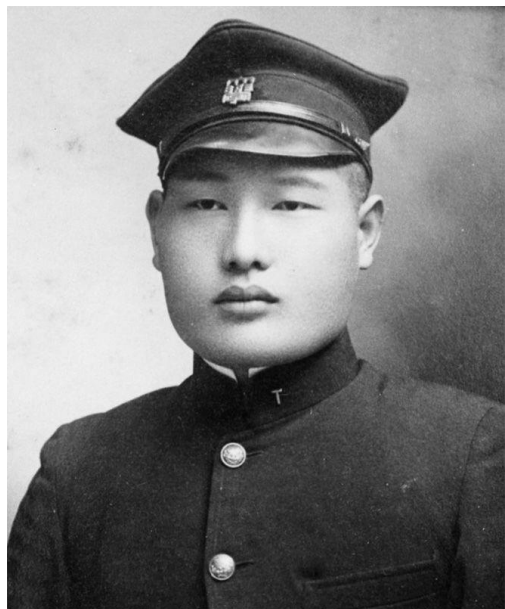
1. 機会と危機、AIとエネルギー
2. 知能を考える
3. エネルギーを考える
- 4. 教育を考える**
5. 不確実な時代を生きる

教育は国家百年の計

- 「鉄は国家なり」
1901年、官営八幡製鉄所が設立された。
安川敬一郎らは、「国家によって得た利益は国家のために使うべきである」との信念から、わが国工業教育の向上と北九州工業地帯発展のために巨額の私財を投じて、1909年に明治専門学校(九州工業大学)を開校した。
1911年に設立された九州帝国大学と共にその後の日本および九州の発展の礎を築いた。
- 「シリコンは国家なり」
九州と北海道が拠点に選ばれた。
ここに優れたアカデミアを作ることは、我々の歴史的使命である。

日本と台湾の友情を育んだ人たち

- ・ 八田與一：台湾を愛した日本人、嘉南大圳の父として台湾から愛された日本人
- ・ 広井 勇：八田が薫陶を受けたであろう教師



烏山頭ダム

着工1920年、完成1930年
用水路から水が流れ出たとき、地元の農民
60万人は「神の水が来た」と喜び涙を流した

八田 與一 (1886-1942)

1910年東京帝国大学工学部土木科卒業
国家公務員の身分を自ら捨て台湾の組合付き
技師となってダム建設を陣頭指揮

八田の銅像



広井 勇 (1862-1928)

なんのために工学はあるのか？

もし工学がただ人生を繁雑にするのみならば何の意味もない。

これによって数日を要するところを数時間の距離に短縮し、一日の労役を一時間にとどめ、
それによって得られた時間で静かに人生を思い、反省し、神に帰る、
の余裕を与えることにならなければ、われらの工学には全く意味を見出すことはできない。

だれとはなしに手を合わせて
拝む姿がみられるようになった

ダムから半導体へ

- 日本と台湾の協力による歴史的な国家事業が再び始まる
- デジタル社会を創る産業インフラとして半導体再建は国家事業である

	1920年代	2020年代
社会	農耕社会	データ駆動社会
インフラ	ダム	半導体
国家事業	烏山頭ダム	TSMC工場
材料	土砂	シリコン
資源	水	データ

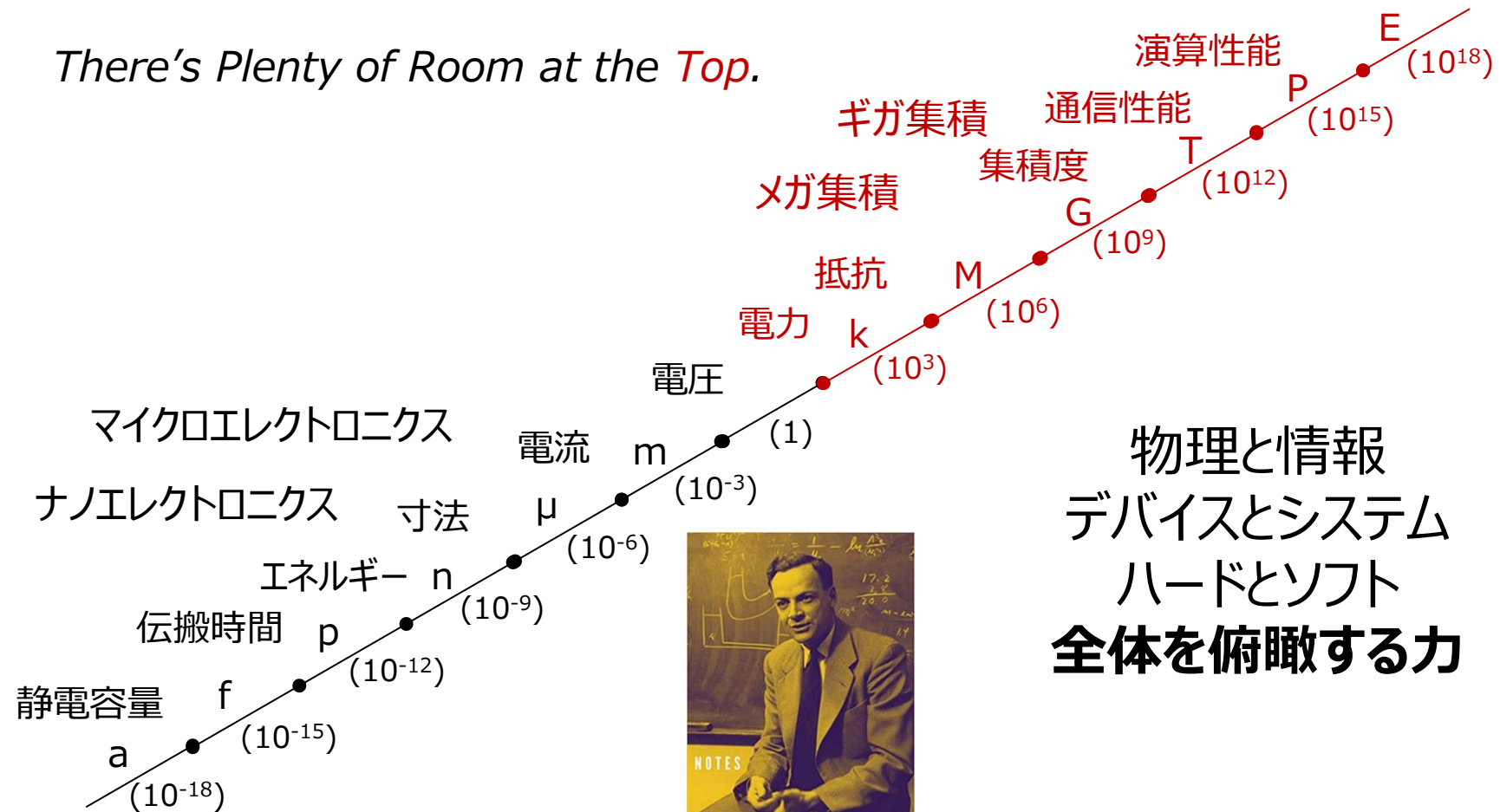
＊熊本での講演会の後に話しかけられた：
「娘が熊本県立大学に今年入学しました。入学式の後、娘のスマホの壁紙が変わりました。
その人物が八田與市であることとその意味を今日の講演を聞いて理解しました。」

2024年度入学式 <https://www.youtube.com/watch?v=dlhzhodEdsg>

ユースケース創出は俯瞰力(10^{-18} の物理 $\sim 10^{18}$ の情報)

- 一兆個のトランジスタで何を作るか？HWとSWのリソースをどのように配分するか？
- 広大な空間(物理と情報、デバイスとシステム、HWとSW)を俯瞰する力が求められる

*There's Plenty of Room at the **Top**.*

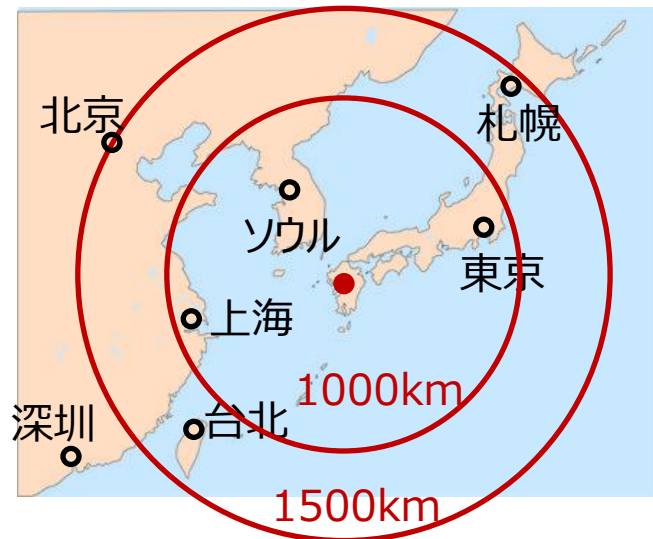


*There's Plenty of Room at the **Bottom**.*
(by Richard P. Feynman, December 29th, 1959)

21世紀はアジアの世紀、その中心に九州

- 九州は東アジア・ハイテク産業の中心
- 世界の頭脳を惹きつける都市づくり

- 九州から1500km圏に主力拠点、九州は東アジアのハイテク産業地図の中心に位置する



- フェニックスからシリコンバレーまでが1000km、ポートランド(インテル)までが約2000km、アルバニー(IBM)までが4000km



火の国・水の国・半導体の国の建設

豊かな**知の森**（知の集積エリア）を作る

1) 若者が集うキャンパスを作る

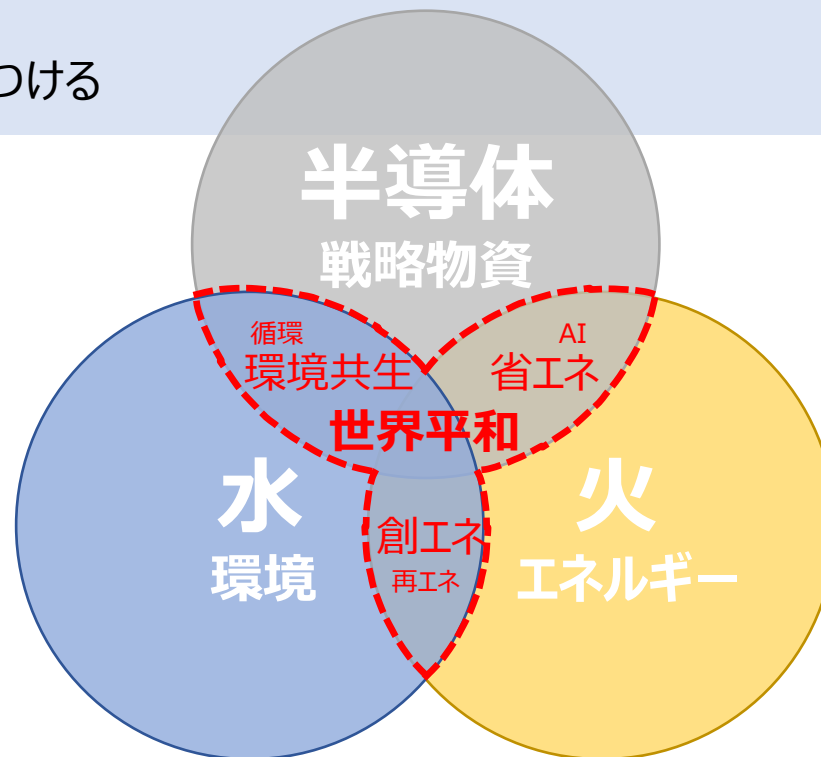
半導体産業が栄える地域には優れたキャンパスがある（例:Stanford, UC Berkeley）

2) サイエンスパークを作る

世界の頭脳を惹きつける(国際頭脳循環の交差点)

3) 「阿蘇会議」を作る

ダボス会議のように知を惹きつける



熊本サイエンスパーク

頭脳を惹きつける唯一・最先端の設備・技術・サービス

1) 先端(3D)実装の試作・評価ができる

目的：研究者を惹きつける（imec型研究拠点）

利用者：国研、大学、高専、世界の研究機関

特長：①CoC(Chip-on-Chip) の装置・プロセス・試作サービス、設計の研究者を惹きつける

②HI(Heterogeneous Integration) でイノベーション、システムの研究者を惹きつける

③未来技術の創出、実装の研究者を惹きつける

2) パワエレの課題解決

目的：企業を惹きつける（Fraunhofer/新竹SP型開発拠点）

利用者：デンソー、三菱電機、九州中小企業、台湾(ITRI、企業)

特長：①特区、ワンストップ窓口

②日台連携（マーケティング x ソリューション）

③信頼性追求

3) AIのユースケース創出

目的：スタートアップを惹きつける（シリコンバレー型イノベーション拠点）

利用者：ベンチャー企業、大学、研究機関

特長：①AI計算基盤、PoC

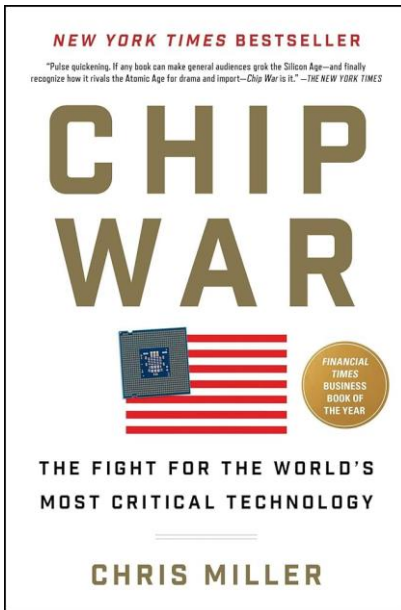
②生命科学やフィジカルインテリジェンスを追究

アジェンダ

1. 機会と危機、AIとエネルギー
2. 知能を考える
3. エネルギーを考える
4. 教育を考える
5. **不確実な時代を生きる**

Politics meets Technologies

- 世界のパワーゲーム：「軍事・防衛」「経済」「先端技術」
- 「鉄は国家なり」 鉄血宰相ビスマルク（19世紀）
- 石油をめぐる争い（20世紀）
- CHIP WAR、地政学的リスク（21世紀）
- 半導体は国家の安全保障や経済成長・社会変革を支える国家基盤
- 石油は天然資源、半導体は人的資源
- 日本の豊かな人材を高度化する (*More People*)



メガトレンド

- 景気循環：50年周期(コンドラチェフの波)
- 制度循環：80周年
- 文明交代：8世紀周期
- レーガンの拡大的財政政策(レーガノミックス)から50年が経過して、グローバル化と自由主義経済を謳歌する時代の終焉を迎えた
- 米国は1945年(世界の覇権が英国から米国に移る)から80年が経過
- 中国も2029年に建国80周年を迎える
- 13世紀のモンゴル帝国から14世紀のルネサンスでヨーロッパに文明の中心が移り、8世紀を経て、文明の中心がアジアに戻ろうとしている
- 惑星直列！
- 激動の時代を迎える
VUCA (Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity)

激動の時代を生き抜く

- 吉田松陰（明治維新の精神的指導者・理論者；1830-1859）
「夢なき者に理想なし、理想なき者に計画なし、計画なき者に実行なし、
実行なき者に成功なし。故に夢なき者に成功なし。」
- 現代
Plan(計画)、Do(実行)、Check(評価)、Action(改善)を繰り返して
計画を実行に移す
- AI時代
データ駆動、素早く行動しPDCAを多く回すほど、多くのデータを得られる
素早い実行なくして知見(データ)なし、知見(データ)なくして成功なし
- 結論
夢なき者に理想なし、
理想なき者に計画なし、
計画なき者に素早い実行なし、
素早い実行なき者に知見(データ)なし、
知見(データ)なき者に成功なし。
故に夢と素早い行動なき者に成功なし。

まとめ

【半導体のメガトレンド】

- 第3期高度成長期を迎えた AIが巨大市場を創出し、電力危機を招く
- 国家基盤となる 石油は天然資源、半導体は人造資源（More People）
- 半導体とAIは共進化する
AIが半導体の設計・製造を担う、人は半導体のユースケースを創出する

【作る技術】

- エネルギー効率改善
専用チップを3D集積
- 開発効率改善
AIとチップレットによる自動設計・製造

【使う技術】

- 俯瞰力
 10^{-18} の物理～ 10^{18} の情報
- 民主化
多様な人材を育成・採用、女性活躍

【激動の時代を生き抜く】

夢なき者に理想なし、理想なき者に計画なし、計画なき者に素早い実行なし、
素早い実行なき者に知見(データ)なし、知見(データ)なき者に成功なし。
故に夢と素早い行動なき者に成功なし。