

フォトニクスコンピューティング

超低消費エネルギー光脳の実現に向けて

國分 泰雄

2026年6月15日 NEDOサミット



HPCとAIは持続可能か？

- AI データセンターの電力消費
= GW 級（原発1基分）

→ 立地に制約

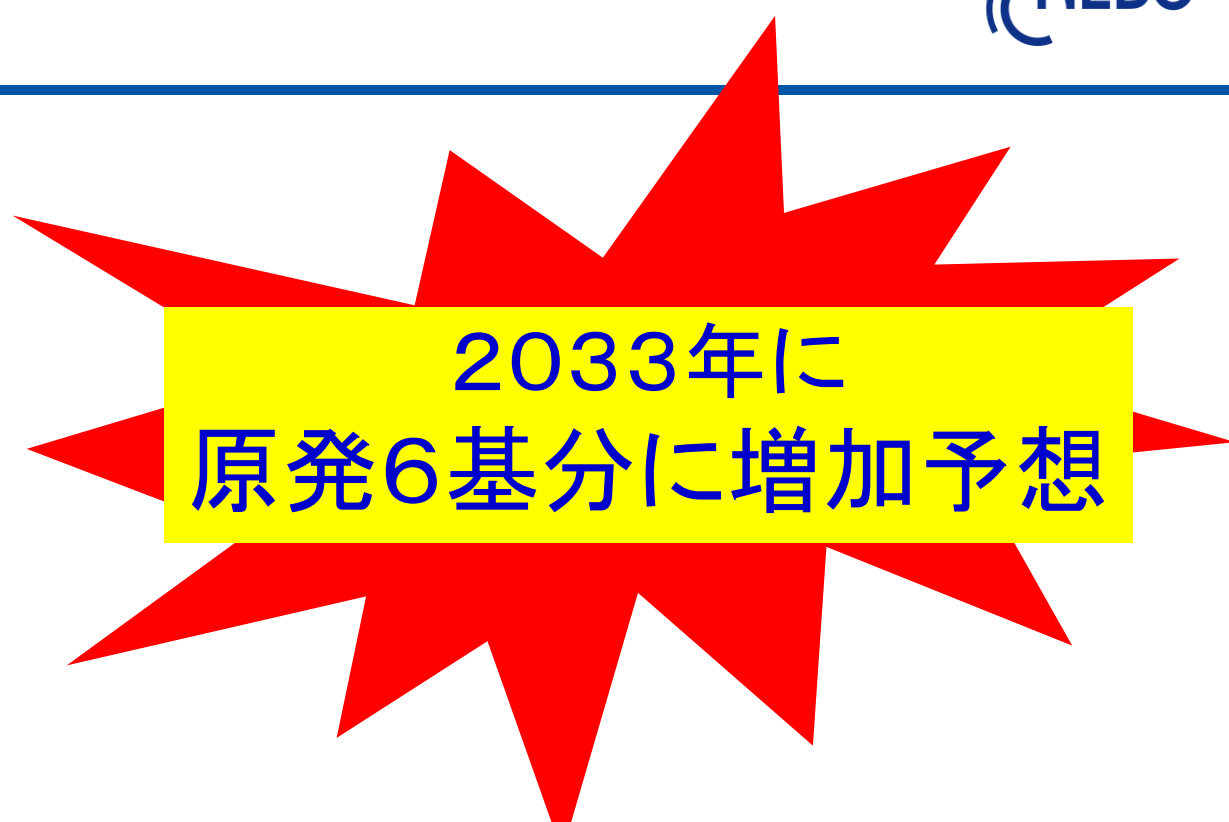
- Edge AI の GPU* 消費電力
も膨大（250W～400W）

→フィジカルAI等への搭載には
限界



超低消費電力グラフィックプロセッサ（GPU）の必要性

* GPU: Graphics Processing Unit



2033年に
原発6基分に増加予想

低消費電力フォトニックスアクセラレータが未成熟

HPC、AI 演算の基幹部分は大規模ベクトル・行列の並列演算(大電力消費)

➡ 光による並列演算は超高速、本来は低消費電力

- 空間伝搬並列処理(LightGen)⁽¹⁾:

超高速、消費電力GPUの1/500

だが、しかし

➤ 事後学習不可

- 光電融合集積(Siフォトニックス回路)

- ◆ PACE⁽²⁾: 高速

➤ ニューロン数 1/2500

➤ 消費電力≒GPU

- ◆ Photonic Tensorcore⁽³⁾: 高速

➤ ニューロン数 1/6000

➤ 消費電力≒GPU

➡ フォトニックスアクセラレータ(光GPU)の大規模化、低消費電力化が必要

(1) Yitong Chen et al., "All-optical synthesis chip for large-scale intelligent semantic vision generation," Science, **390**, p.1259 (2025).

(2) Shiyue Hua et.al., "An integrated large-scale photonic accelerator with ultralow latency," Nature, **640**, p.361, 2025。

(3) Ahmed, S.R., et al., "Universal photonic artificial intelligence acceleration," Nature, **640**, p.368 (2025). -

集積度と低消費電力のブレークスルーが必要



GPUの集積度

ニューロン数 = 10^8 個



100倍～10,000倍

- LightGen (空間伝搬)

ニューロン数 = 2.16×10^6 個

- フォトニックアクセラレータ

ニューロン数 = 1.6×10^4 個

対GPU比電力効率

- LightGen(空間伝搬): $1/500$

事後学習無 ➡ フレキシビリティ無

- フォトニックアクセラレータ:

光化が不十分 ➡ $\simeq$ GPU



$\frac{1}{100}$ 以下

フォトニックアクセラレータの
本来性能 GPUの $1/100$ 以下

大規模集積化と低消費電力化への挑戦

将来技術：十分な光集積化による低消費電力化

Case A

- スケーラブルな集積化アーキテクチャとアルゴリズム：

- 行列とベクトルの次元拡張性（集積度）
- 光の波長 $\gg$ GPUの素子サイズ $\rightarrow$ 集積度の制約を克服するアルゴリズム

Case B-1

Case B-2

Case B-1

- フレキシブルなアルゴリズムまたは集積化アーキテクチャ：

- アナログ演算の誤差抑制と補正
- 非線形デバイス集積化 $\rightarrow$ 深層学習

技術統合による低消費電力 & 大規模集積

GPU比 1/100以下