

「次世代デジタルインフラの構築」 プロジェクトに関する 研究開発・社会実装計画（案）の概要

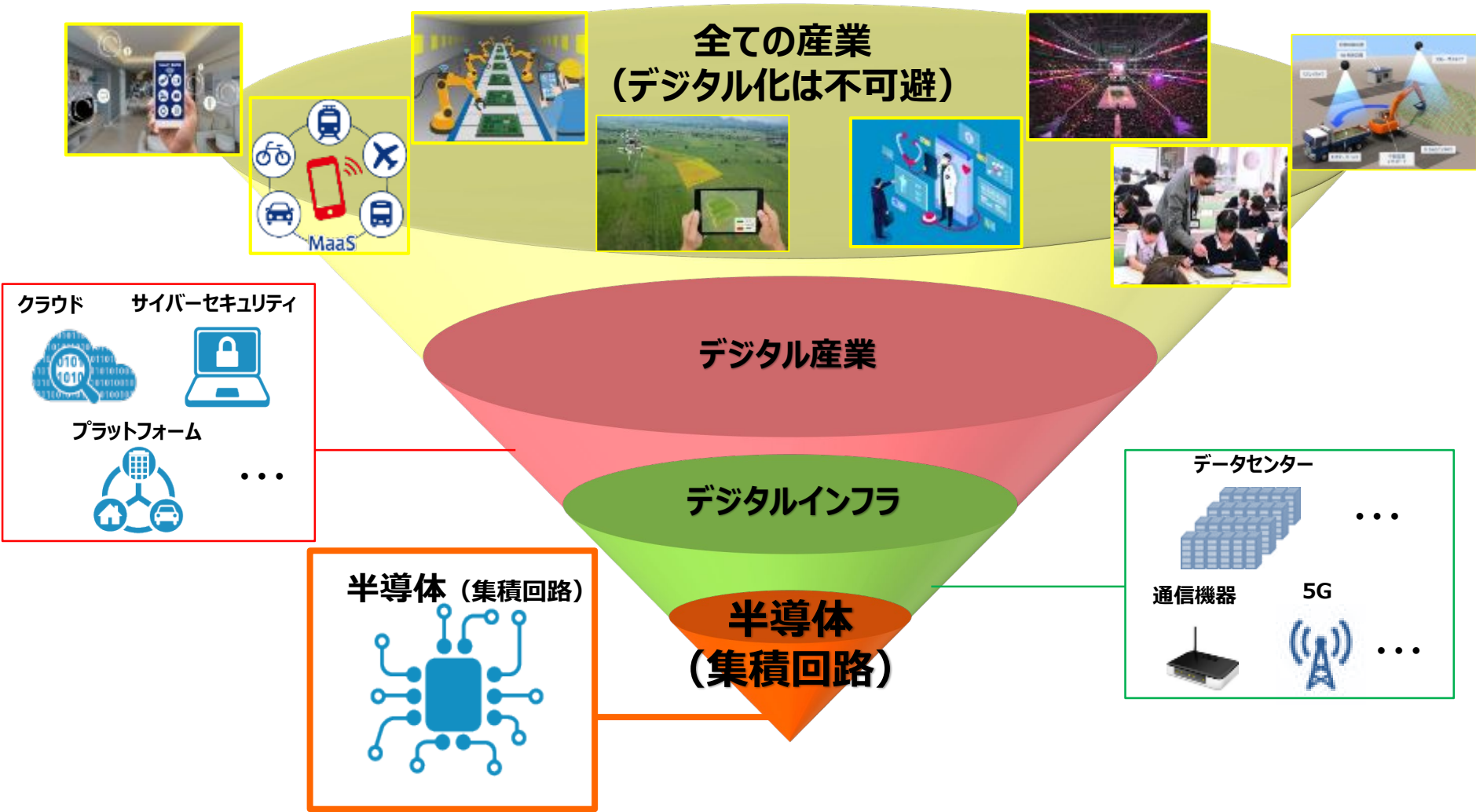
2021年7月

経済産業省

商務情報政策局

半導体・情報通信産業の重要性

- 半導体は、5 G・ビッグデータ・AI・IoT・自動運転・ロボティクス・スマートシティ・DX等のデジタル社会を支える重要基盤であり、安全保障にも直結する死活的に重要な戦略技術。



各国による大規模な産業政策の展開

- 5.7兆円規模の産業政策を講ずることを表明している米国に加え、各国が、**経済安全保障の観点から重要な生産基盤を囲い込む新次元の産業政策を展開**。

国・地域	産業支援策の主な動向
米国	● 最大3000億円/件の補助金や「多国間半導体セキュリティ基金」設置等を含む国防授權法（NDAA2021）の可決。 ● バイデン大統領は520億ドル（約5.7兆円）の半導体産業投資を含むCHIPS法案に賛意。
中国	● 「国家集積回路産業投資基金」を設置（'14, '19年）、半導体関連技術へ、計5兆円を超える大規模投資。 ● これに加えて、地方政府で計5兆円を超える半導体産業向けの基金が存在（合計10兆円超）
欧州	● 2030年に向けたデジタル戦略を発表。デジタル移行（ロジック半導体、HPC・量子コンピュータ、量子通信インフラ等）に1345億€（約17.5兆円）投資等
台湾	● 台湾への投資回帰を促す補助金等の優遇策を始動。ハイテク分野を中心に累計で2.7兆円の投資申請を受理。（2019.1） ● 半導体分野に、2021年までに計300億円の補助金を投入する計画発表。（2020.7）
韓国	● AI半導体技術開発への投資に1,000億円を計上。（2019.12） ● 半導体を含む素材・部品・装置産業の技術開発に2022年までに5,000億円以上を集中投資する計画を発表。（2020.7） ● 総合半導体大国実現のための「K-半導体戦略」を策定（2021.5）



ジョー・バイデン米大統領は、スピーチで半導体チップを示しながら、半導体の重要性を熱弁。半導体サプライチェーンの調査を指示する大統領令に署名

（出典）SAUL LOEB/AGENCE FRANCE-PRESSE/GETTY IMAGES

(参考) 我が国半導体産業を巡る全体像

<主な構造変化>

経済安全保障の環境変化

米中技術覇権の対立

中国向け
販路・サプライチェーンの見直し

米国の設計開発・国内生産強化に伴う
製造装置・素材の海外移転の懸念

製造拠点（ファウンドリ）の
台・韓の地政学リスク

アフターコロナのデジタル革命

- 5G・BD・AI・IoT・DXの進展（Society 5.0の実現）
- エッジ処理の増加（エッジクラウド含む）、通信×コンピューティング融合
- 微細化の限界（前工程）⇒ 積層化・3D実装・ヘテロジニアスコンピューティング（中後工程）

エネルギー・環境制約の克服（グリーン化）

- 産業自動化・電動化による電力消費増加
- データ処理量の急増に伴うIT機器の消費電力の急増
⇒ 革新素材（SiC、GaN、Ga₂O₃）、光エレクトロニクス

レジリエンスの強靱化

- 海外依存度の高まりによる
サプライチェーンリスクの増大
- 世界的な半導体不足の発生

<今後の対応策>

国内産業基盤の強靱化

需要面

<デジタルニューディールの推進>

5Gインフラ、クラウドDC
（エッジ・HPC含む）
等投資促進支援

DX推進
（5Gユースケース、自動走行・
ロボティクス、FA・IoT、スマートシティ、
医療・ヘルスケア、ゲーミング等）

供給面

【設計】

<ロジック半導体のアーキテクチャ強化>

アプリケーションシステムに係る
ロジック半導体設計の促進

AIチップ・次世代コンピューティング技術開発
（東大・産総研拠点、NEDO）

【製造】

<ファウンドリの基盤確保>

先端ロジック半導体
ファウンドリの国内立地

【素材・製造装置】

<チョークポイント技術の磨き上げ>

先端製造プロセス
パイロットライン

省エネ半導体・光エレ開発

国内半導体産業のポートフォリオ・サプライチェーン強靱化

経済安全保障上の国際戦略

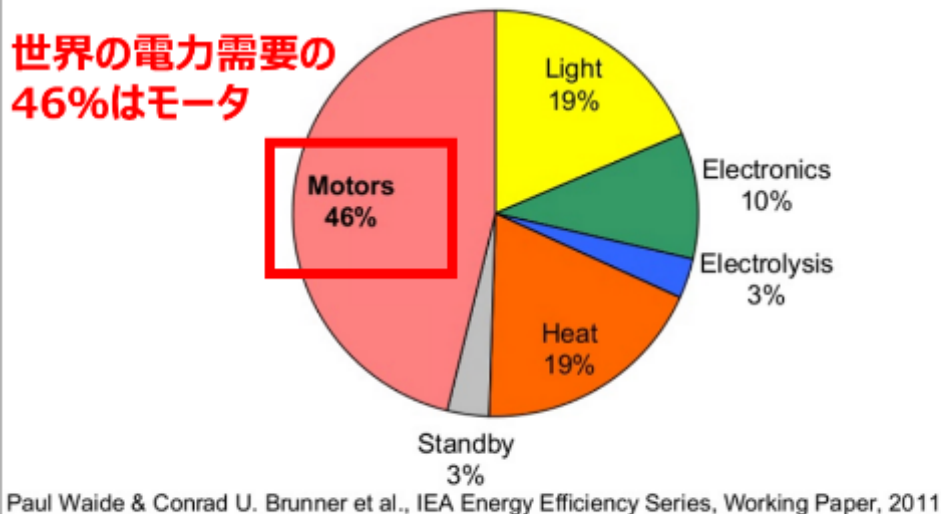
先端技術のインテリジェンス強化

有志国等の連携による産業政策の協調

パワー半導体（電力制御）の高性能化の必要性

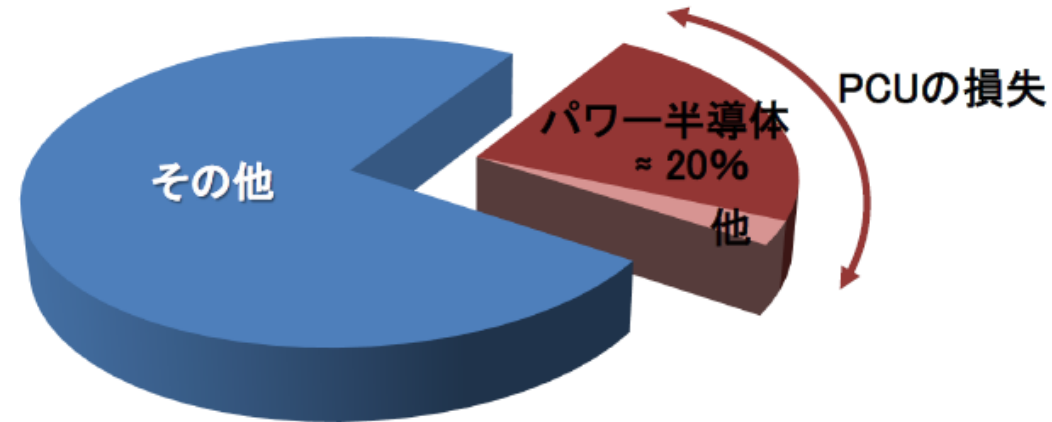
- 世界の用途別電力需要のうち、約半分がモータによる電力となっており、モータの駆動等に用いられるインバータ（パワー半導体を使った機器）の効率改善は、様々な電気機器の電力制御時の損失低減により、電化・デジタル化社会の実現に貢献。
- 例えば、HV自動車の電力損失のうち、約20%がパワー半導体による損失であり、サーバーの消費電力のうち、約25%がパワー半導体が使用されている電源の損失。

世界の用途別電力需要



(出典) "Electric Motor Systems: targeting and implementing efficiency improvements", European Copper Institute, 8 October 2015

【HV自動車の電力損失】

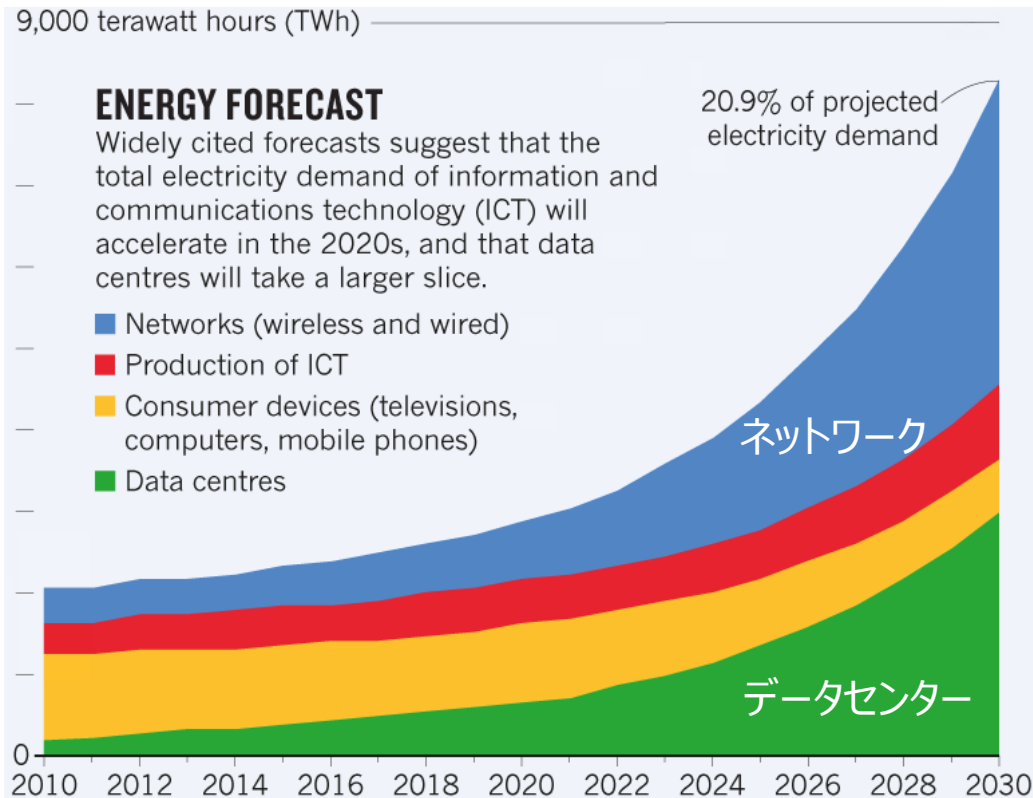


トヨタ自動車資料より引用

社会・経済を支えるデジタルインフラ（計算資源）のグリーン化の必要性

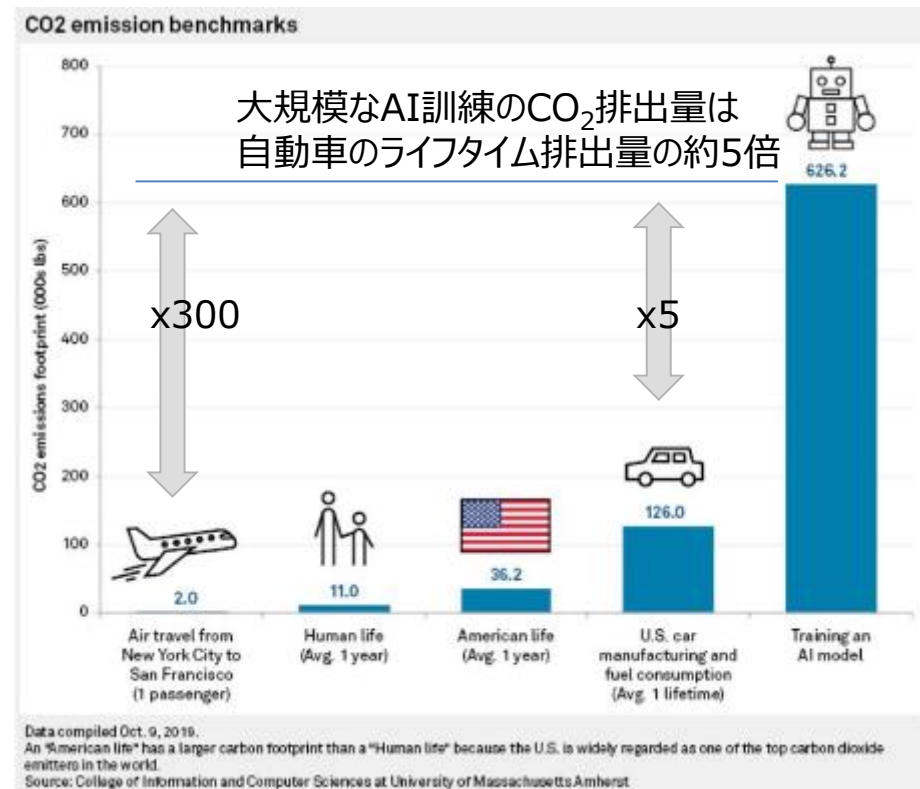
- IoTデバイスやAI需要の爆発的増加に比例して、データ処理に必要な電力消費量も増大する。今後、電力消費量が制約となり、機会損失が増大する恐れ。
- 加えてAIの環境負荷への懸念も増大。（グリーンAI）

デジタルインフラの消費電力量の推移及び予測



（出典）Nature 2018/9

CO₂排出量ベンチマーク



（出典）Forbes 2020/8 5

グリーン成長戦略（半導体・情報通信産業）

2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略
(令和3年6月18日)

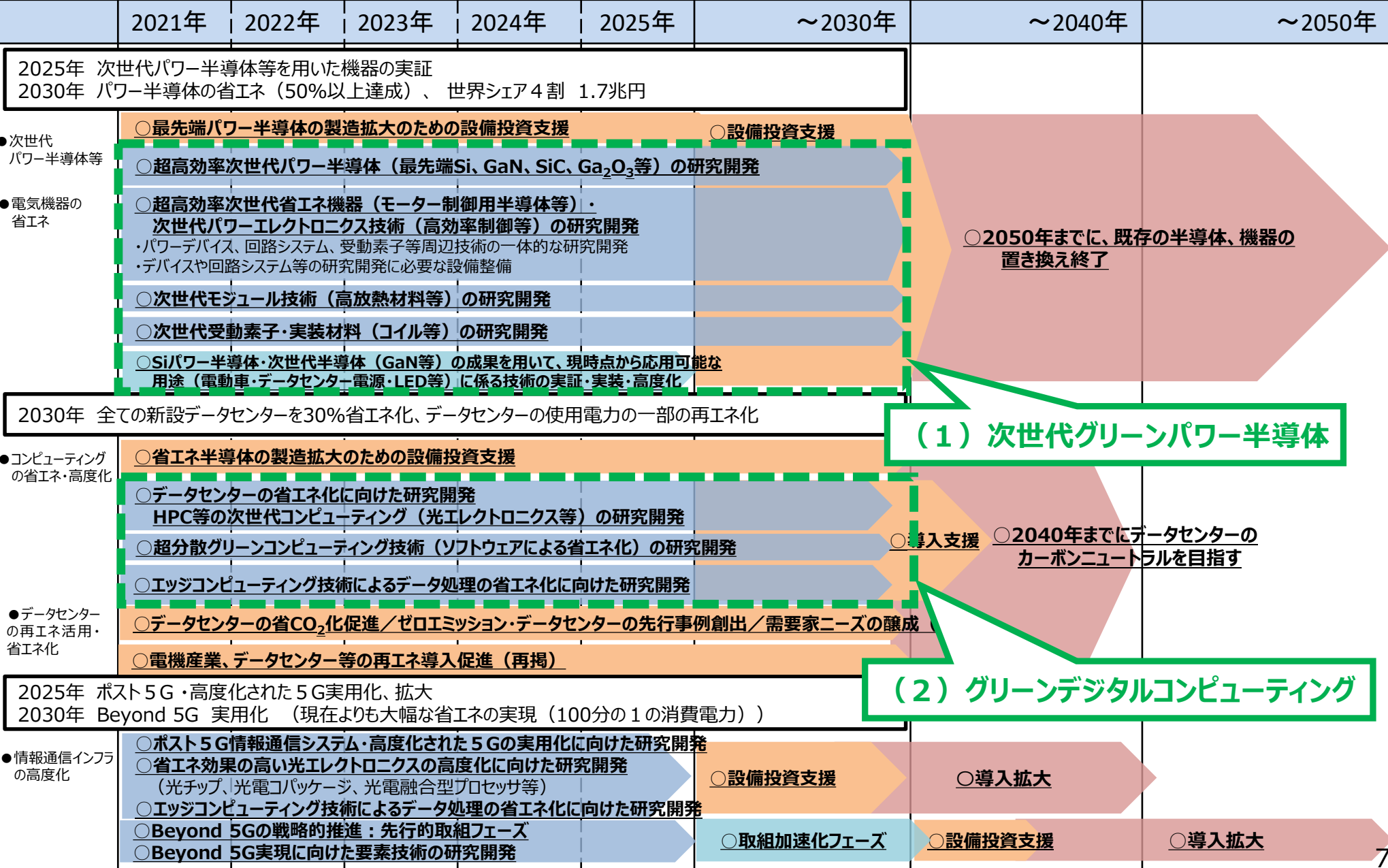
- ◆ ①デジタル化によるエネルギー需要の効率化（「グリーン by デジタル」）と、②デジタル機器・情報通信の省エネ・グリーン化（「グリーン of デジタル」）の二つのアプローチを車の両輪として推進。

	現状と課題	今後の取組
デジタル化によるエネルギー需要の効率化・省CO2化 (グリーンbyデジタル)	DXにより、データセンター向けエネルギー需要が急増。デジタル化の中核となるデータセンターの立地やグリーン化、5Gなど次世代情報通信インフラの構築が必要。 ・デジタル化・DXの省エネ効果は大（クラウド化で8割省エネ達成） ・データセンターが国内にあることで、データ通信の低遅延化が実現することなどにより、自動運転や遠隔医療、スマート工場など、データを利用した<u>新たなサービス展開も広がっていく。</u> ・データが国内に集約・蓄積されることは、<u>経済安全保障</u>にも寄与。 ・今後、世界的に<u>グリーンなデータセンター</u>の市場が拡大。 ※国内データセンター市場：1.5兆円(19年)⇒3.3兆円(30年) ※プラットフォーム企業は、全データセンターで消費する電力相当の再エネを購入 ※中国では、2030年にデータセンター投資が10兆円規模に ・日本は、①電力コストが高い、②脱炭素電力の購入が困難、③大規模需要では電力インフラへの接続に年単位の時間を要するといった課題があり、国内立地が進んでいない。	DX推進に伴う、グリーンなデータセンターの国内立地推進、次世代情報通信インフラの整備 ・社会、経済システム、企業のDXを推進 ⇒ DX関連市場24兆円実現 ・国内データセンターによる<u>サービス市場（3兆円超）を拡大</u> ・全国で数カ所程度、日本最大級のデータセンター拠点整備をするため、<u>立地計画策定などの政策パッケージを検討し、早期に実行</u> ・<u>グリーン電力調達を行うデータセンターの立地を補助、国内での再エネ導入を支援</u> ⇒脱炭素電力の購入円滑化に向け、<u>非化石価値取引市場の制度整備を検討</u> ・<u>次世代情報通信インフラの実用化に向けた研究開発・標準化支援</u>
デジタル機器・産業の省エネ・グリーン化 (グリーンofデジタル)	あらゆる機器に使用されている半導体の省エネ化が急務、データセンターでの再エネ活用は極少数 ・<u>デジタル関連の消費電力は、飛躍的に増加</u> ※IT 関連の消費電力の増加（省エネなしの場合） 2016年：410億kWh/年（<u>全電力の4%程度</u>） ⇒2030年：1兆4,800億kWh/年（<u>現在の36倍以上</u>） ・データセンターは、大量のメモリ・半導体を使い、膨大な電力を消費。 ※大規模データセンターは<u>大型火力1基(100万kw)</u>の電力を消費 ・半導体は国際競争が激化。<u>省エネ半導体実用化が競争力に直結。</u> ※パワー半導体は、東芝、三菱電機、富士電機等で世界シェア29%	パワー半導体や情報処理に不可欠な半導体、データセンター、情報通信インフラの省エネ化・高性能化・再エネ化を支援 ・<u>次世代パワー半導体等の研究開発、実証、設備投資を支援</u> ・2030年までに実用化・普及拡大、1.7兆円の市場を獲得 ・デバイスや光電技術、ソフトウェア技術の研究開発、実証支援 ・2030年までに全ての新設データセンターを30%省エネ化、<u>データセンター使用電力の一部再エネ化を目指す</u> ・エッジコンピューティングによりネットワークやデータセンターの負荷を低減させ、情報通信インフラの30%以上の省エネ化を目指す ・<u>2040年に、半導体・情報通信産業のカーボンニュートラルを目指す</u>

⑥半導体・情報通信産業の成長戦略「工程表」(グリーン of デジタル)

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ

●具体化すべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等



(1) 次世代グリーンパワー半導体

(2) グリーンデジタルコンピューティング

⑥半導体・情報通信産業の成長戦略「工程表」(グリーン by デジタル)

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ

●具体化すべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
2030年 DX関連市場 2.4兆円達成								
●DX推進	○各産業・企業や地域におけるDXをさらに加速するための方策の検討 ・重点領域(人・物の物理的移動を伴う産業や、大量の電力を使用する産業)のDXによる省エネ化検討						○電化、DXの更なる推進	
●ソフトウェア開発	○次世代クラウドソフトウェア、プラットフォームの研究開発、実証			○実証	○コスト低減等導入支援			
●デジタル技術を用いた省CO ₂ 促進	○デジタル技術の活用による地域の省CO ₂ 化推進のための実証				○コスト低減等導入支援			
2030年 データセンターサービス市場 3兆円、データセンター投資 1兆円規模								
●データセンター国内立地推進	○データセンターの立地促進 ・データセンターの省CO ₂ 化促進／ゼロエミッション・データセンターの先行事例創出／需要家ニーズの醸成 ・インターネットトラフィックの地域分散化						○国内グリーン・データセンターの拡大	
●データセンター早期立地に向けた検討	○データセンターの早期立地に向けた立地計画策定等の政策パッケージの検討		○データセンター国内早期立地のための新たな仕組みの運用開始					
●再エネ電力再エネ証書の購入拡大	○再エネ電力調達促進に向けた各制度の在り方の検討							
●再エネ導入支援	○電機産業、データセンター等の再エネ導入促進							
2025年 ポスト5G・高度化された5G実用化、拡大 2030年 Beyond 5G 実用化（現在よりも大幅な省エネの実現（100分の1の消費電力））								
●情報通信インフラの高度化	○ポスト5G情報通信システム・高度化された5Gの実用化に向けた研究開発 ○省エネ効果の高い光エレクトロニクスの高度化に向けた研究開発（光チップ、光電コパッケージ、光電融合型プロセス等） ○エッジコンピューティング技術によるデータ処理の省エネ化に向けた研究開発				○設備投資支援		○導入拡大	
	○Beyond 5Gの戦略的推進：先行的取組フェーズ ○Beyond 5G実現に向けた要素技術の研究開発				○取組加速化フェーズ	○設備投資支援	○導入拡大	

本プロジェクトで取り組むテーマ

(1) 次世代グリーンパワー半導体

(2) グリーンデジタルコンピューティング

・次世代グリーンデータセンター

パワー半導体とは

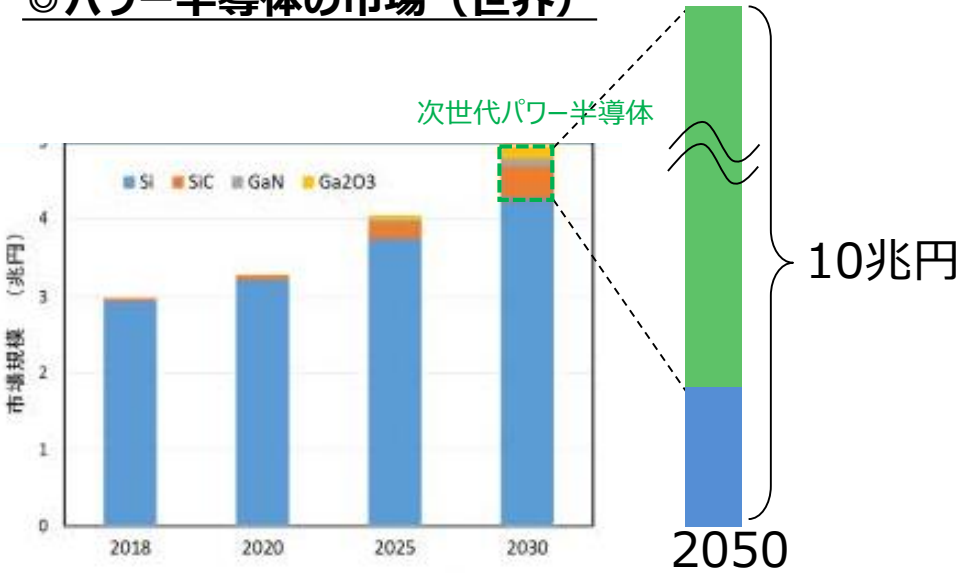
- パワー半導体は自動車・産業機器、電力・鉄道、家電など、生活に関わる様々な電気機器の制御に使用されている。
- カーボンニュートラルに向けた電化社会にとって、こうした電気機器の省電力化は極めて重要。
- 特に、使用電力容量が①中容量帯では自動車の電動化、②大容量帯では再エネ等の電力系統、③小容量帯ではデータセンター用電源として、電化・デジタル化に伴う需要の増加が予想されており、これらの省電力化技術は重要。



次世代パワー半導体市場の動向

- パワー半導体の世界市場規模は拡大しており、現時点で約3兆円であるが、2030年には5兆円、2050年には10兆円市場になると言われている。
- 電気機器の多くは従来のSi（シリコン）が使用されているが、次世代パワー半導体（SiC（シリコンカーバイド）、GaN（窒化ガリウム）、GaO（酸化ガリウム）等）はSiよりも省エネ性能に優れており、今後市場規模が拡大することが予想されている。
- 特に、カーボンニュートラルに向けて重要な電動車、再エネ等電力、データセンター向けに需要が拡大することが予想されている。

◎ パワー半導体の市場（世界）



出典：NEDO「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト」

◎ 各半導体材料の特徴

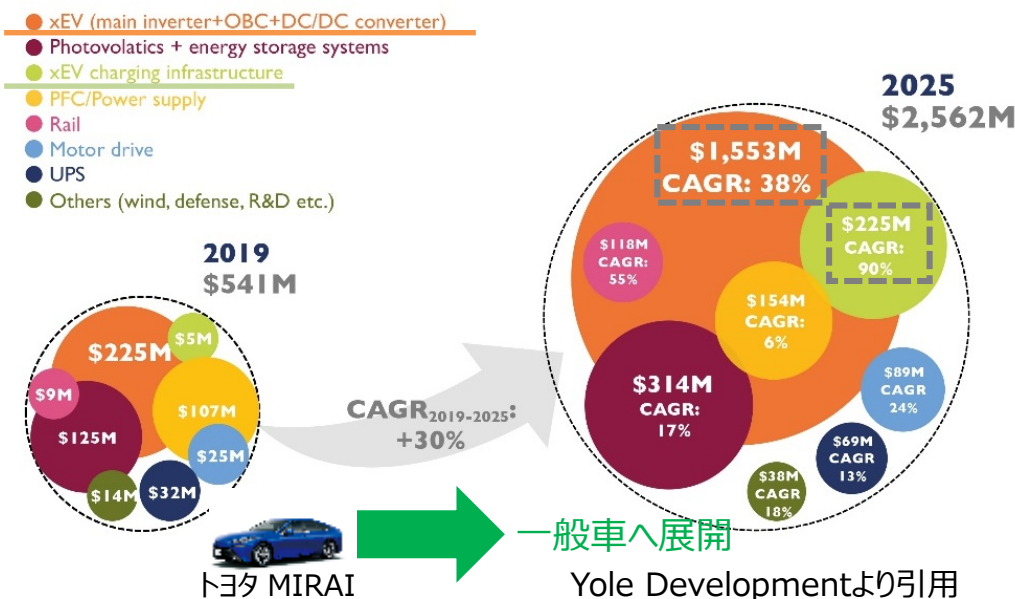
	シリコン (Si)	シリコンカーバイド (SiC)	窒化ガリウム (GaN)	酸化ガリウム (Ga ₂ O ₃)
オン抵抗	×	○	○	◎
耐圧	×	○	○	◎
高速性	×	○	◎	△
熱伝導	○	◎	○	×
価格	◎	×	×	○
適した領域	—	中容量 大容量	小容量	中容量 大容量

※GaNはGaN on Siを想定

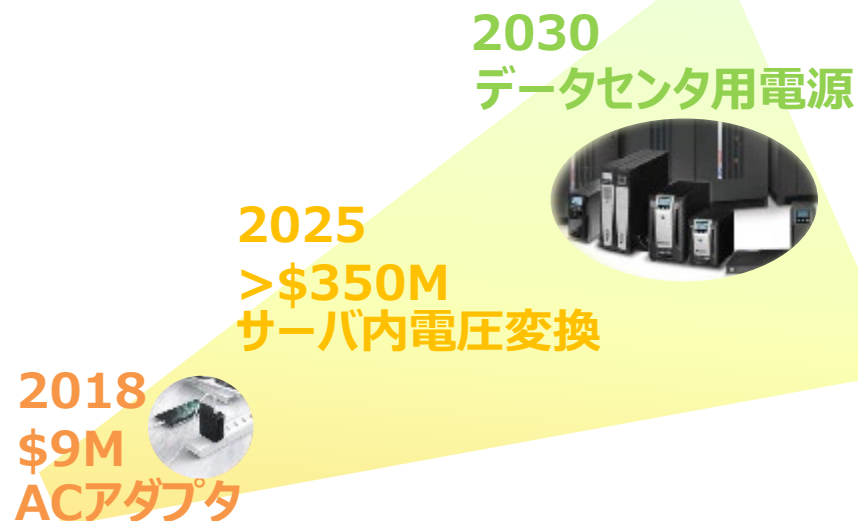
次世代パワー半導体の市場予測と技術課題

- 次世代パワー半導体は、既に一部の用途にて実用化が始まっているが、**SiCは2020年代半ばから後半にかけて電動車（xEV）・充電インフラ、GaNは2025年サーバ内電圧変換器、2030年データセンター向け電源への需要拡大が予想**されている。
- 市場の本格立ち上がりに向けて以下の課題を解決する必要がある。
 - ーコスト：**ウェハの大口径化（150mm⇒200mm）**が一般的であるが、**大口径化に伴うウェハの欠陥・反り等が課題**。
 - ー高性能化・高信頼化：**化合物半導体特有の欠陥（材料系課題）**や**動作速度が速くなることによる制御技術（実証系課題）**などが課題。

● SiCデバイスの今後の市場予測



● GaNデバイスの今後の市場予測



これまでの次世代半導体関連事業の成果と反省

- 次世代パワー半導体については、過去も内閣府SIP事業およびNEDO事業を実施。これらの成果は一部で現れているが、市場獲得がまだ進んでいないのが実態。
 - 例えば、過去のNEDO事業の中間評価では、「SiCパワエレの今後の普及には、応用分野の発掘と拡大が重要。そのために、ウェハの更なる高品質化・低コスト化も重要な課題。」等の指摘があった。
 - SIP事業でも、「目標としていた性能（損失 1 / 2 以下、体積 1 / 4 以下）実証を達成して、世界に先行した。」という成果である一方で、事後評価において、「実用化を担う企業による信頼性の確認・利用が急務。参加企業がビジネスモデルを早急に確立することが不可欠。」というコメントがあった。
- ⇒実用化に向けた課題を克服するべく、本プロジェクトでは、社会実装される分野毎に開発対象を細分化し、ユーザー側のリクワイアメントを取り入れながら取り組む。
(ユーザ側とは定期的に議論して必要に応じて目標修正を実施。)

次世代パワー半導体 各国政策			内容	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25
日本	SIP	110億円	・SiC/GaN基盤技術 ・将来技術	5年									
	METI	110億円	・SiC応用、極限Si ・GaN実用化	6年									

次世代パワー半導体の他国の支援策

- 他国では、具体的なユースケースを指定した事業や省エネ実証など、**実証に向けた支援が実施**されている。
- さらに、**パイロットライン構築**なども実施されており、**ユースケースの開発が促進**されるようなプロジェクトも存在。

次世代パワー半導体 各国政策			内容	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25
欧州	SPEED	15.3億円	・SiC基板、エピ ・高耐圧SiCデバイス	4年									
	WinSiC4AP	4.96億円 (33.5億円)	・SiCインバータ ・市場導入		3年								
	REACTION	12.4億円 (62億円)	・SiC8インチパイロットライン			3.5年							
	TRANSFORM	30億円 (110億円)	・SiCによる省エネ実証					3年					
	Power2Power	100億円	・SiCパイロットライン構築			3年							
	YESvGaN	35億円	・GaNデバイスの低コスト化					3年					
米国	Power America	73.5億円 (158億円)	・SiC製造プロセス ・垂直統合型 ・人材育成	5年+a				5年+a					
	NY-PEMC	142億円 (525億円)	・6インチSiC量産 ・ファウンドリ型	5年									
	New York - CREE	500億円	・8インチSiC				5年						
	SWITCHES	33.6億円	・GaN基板、デバイス ・SiC、ダイヤモンド	6年									
	PNDIODES	17.9億円	・GaNイオン注入 ・GaNゲート絶縁膜		4年								
中国	先端SiC	31億円	・EV用モータ ・充電器		3年								
	国家IC投資基金	3兆円	・GaN, SiC ・その他半導体				4年						
日本	SIP	110億円	・SiC/GaN基盤技術 ・将来技術	5年									
	経産省	110億円	・SiC応用、極限Si ・GaN実用化	6年									
	環境省	18億円 (2021年度)	・GaN/パワーコンディショナ					5年					
	文科省	13.5億円 (2021年度)	・GaN on GaN ・受動部品開発					6年					

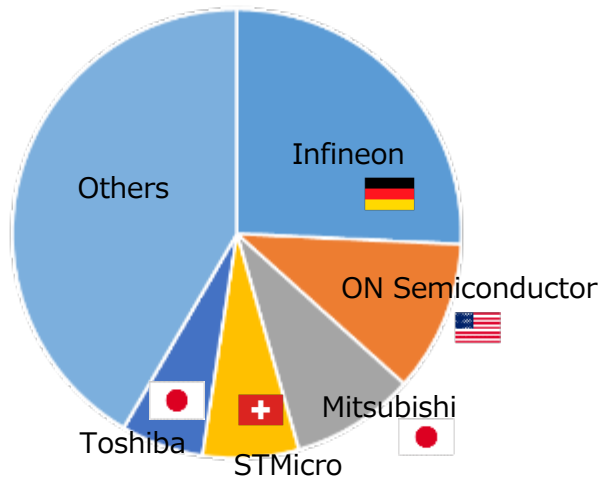
※現在審議中のCHPIS法[†]により
パワー半導体含め、5.7兆円の支援を計画。

[†] CHIPS法：
Creating Helpful
Incentives to Produce
Semiconductors

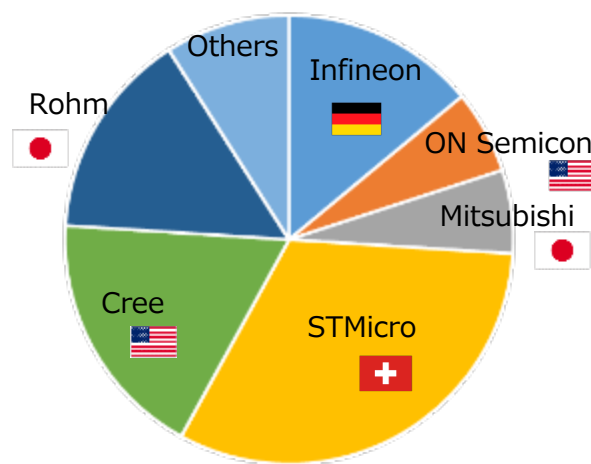
次世代パワー半導体の国際競争力

- Siパワー半導体は300mm化に向けた設備投資が競争軸となっており、こちらについては設備投資競争に突入。
- 一方で、まだ投資競争の要素が少ない次世代パワー半導体（SiC, GaN）ではSiパワー半導体とは勢力図が異なり、新興勢にも競争力獲得の可能性。
- 2020年代中盤以降の需要拡大に向けて高性能化に向けた技術開発及びコスト削減を推進することで、初期の段階でシェアを拡大することが重要。

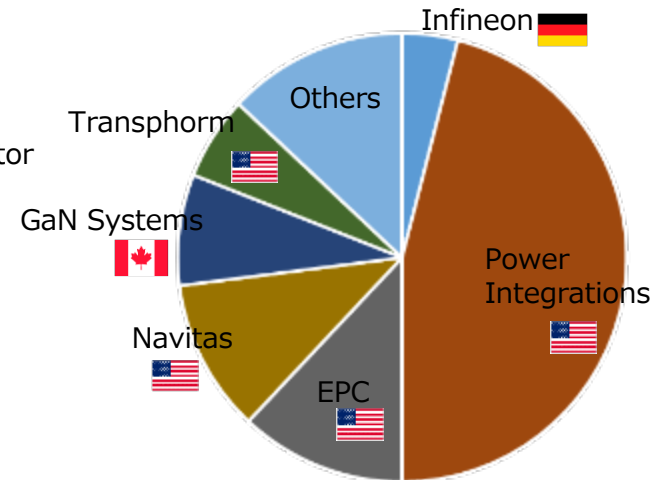
Siパワー半導体のシェア



SiCパワー半導体のシェア



GaNパワー半導体のシェア



◎材料別市場規模

3.2兆円（2020年）

3.7兆円（2025年）

約540億円(2019年)

約2,500億円（2025年）

約9億円(2020年)

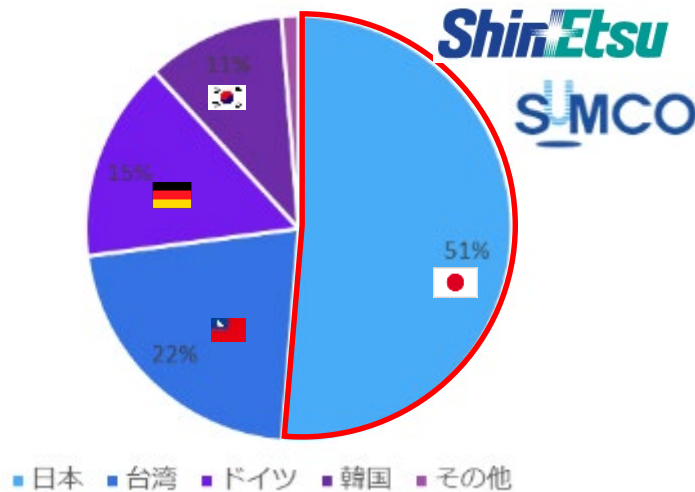
約350億円(2025年)

次世代パワー半導体の素材（ウェハ）に関する国際競争力

- Si半導体ウェハ市場のシェアは日本勢が優位。
 - 一方で、**SiCパワー半導体市場においては圧倒的に米国勢。**
- ⇒ウェハは**安定供給及びコストの面で非常に重要な要素**であり、次世代パワー半導体の**シェア拡大のためには国内のウェハ産業も強化する必要がある**。

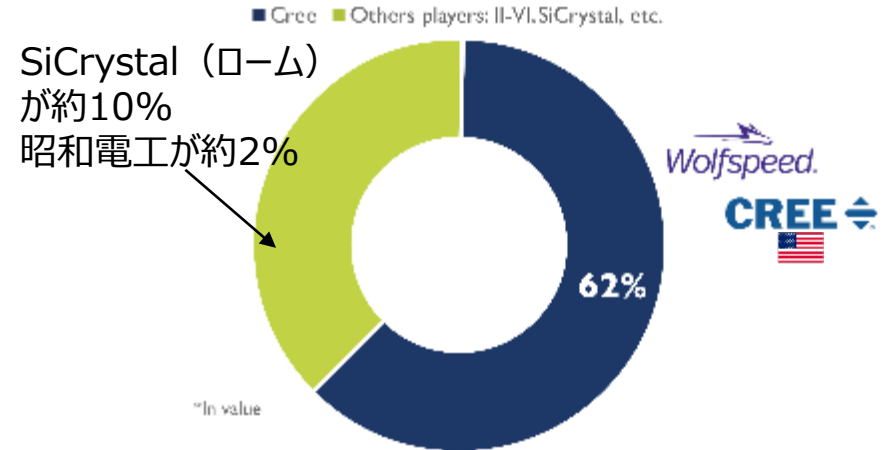
※GaNパワー半導体（GaN on Si）のウェハはほぼデバイスメーカーの自社製造であるため、デバイスメーカーのシェアと連動。

◎ Siウェハの世界シェア（国別）



出典：インフォーマ

◎ SiCウェハの世界シェア



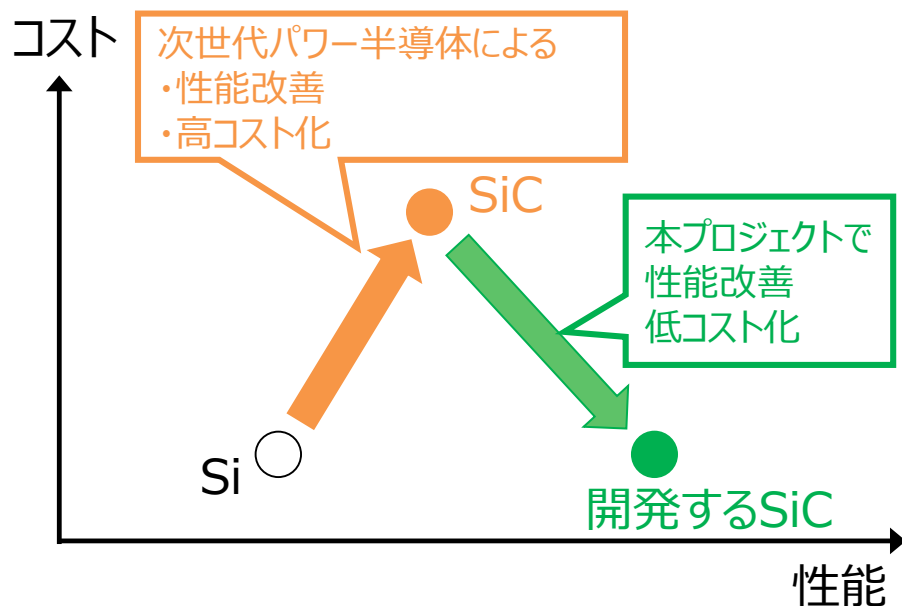
出典：Yole Development

次世代グリーンパワー半導体事業の目標

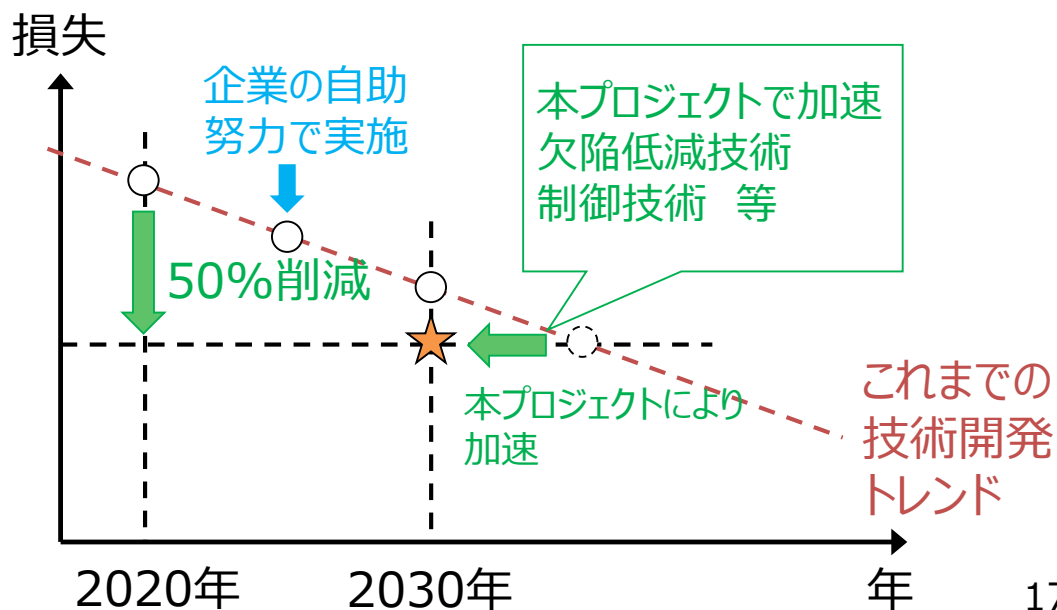
- 次世代パワー半導体による**50%以上の損失低減とSi並のコスト実現（量産時）を2030年までの目標として設定**。（50%の損失低減は電動車では5～10%程度の電費改善に相当。）
- **欠陥低減といった材料に近い技術や制御技術等の実証に近い技術など、複数の要素技術開発を並行して進める**ことで、**一般的な技術開発トレンドからの前倒し**を実現。

※SiC/GaNを対象とし、Ga₂O₃は未だ研究開発段階であり、既存事業（省エネエレクトロニクスの製造基盤強化に向けた技術開発事業）にて、実用化に向けた開発を実施。

◎ 2030年までの開発目標



◎ 性能改善のイメージ



次世代パワー半導体関連の研究開発内容について

- 電化・デジタル化に伴うあらゆる電気機器の電力消費量の増大に対して、**次世代パワー半導体の高性能化を通じた次世代パワー半導体の競争力を強化**するとともに、**Siパワー半導体同等のコスト達成による普及拡大**を目指す。
- 次世代パワー半導体では、**素材（ウェハ）技術も重要**であるが、この部分は実施者の裨益が相対的に小さく、波及性が大きい基盤領域であるため**委託での開始を想定**。

研究開発目標とその考え方等

- 目標①：2030年までに、**次世代パワー半導体を使った変換器などの損失50%低減及びSiパワー半導体と同等のコスト**を実現
→ 従来のSiパワー半導体から次世代パワー半導体への置き換えによる損失削減効果のポテンシャルを参考に、欠陥低減や制御技術の高度化によって実現可能な、野心的水準として設定。また、次世代パワー半導体の普及拡大の障壁はコストであり、Siパワー半導体同等のコストとすることで普及拡大を目指す。
- 目標②：2030年までに、**8インチ（200mm）SiCウェハにおける欠陥密度 1 桁以上の削減**
→ 従来のSiパワー半導体同等のコストを実現するために必要なウェハサイズと欠陥密度を目標値に設定。

※ 詳細な目標仕様についてはユーザーのリクワイアメントを取り入れながら事業期間中に都度修正

目標①

次世代パワー半導体デバイス製造技術開発（補助）

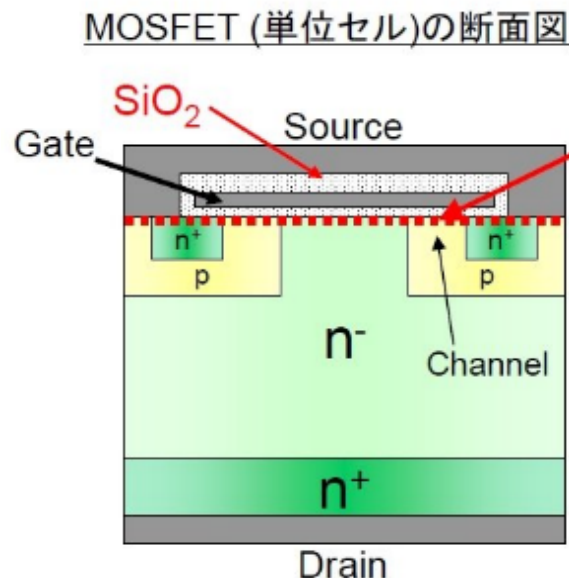
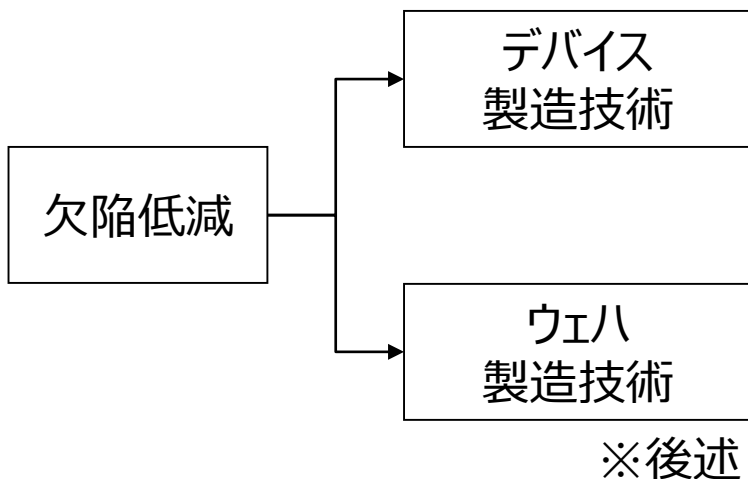
目標②

次世代パワー半導体に用いるウェハ技術開発（委託→補助）

(参考) 高性能化に向けた技術課題①：欠陥低減

- 欠陥低減のアプローチとしては、主には「デバイス製造技術の開発」と「ウェハ製造技術の開発」の2通り。
 - デバイス製造技術の観点では、ゲートと呼ばれる制御部分とチャネルと呼ばれる制御される部分（電流が流れる部分）の間の欠陥が課題であり、SiC半導体では30年以上も課題を抱えているとも言われている。
 - 具体的には、従来のSiに比べて100倍近く欠陥が多く、電流の流れを阻害、すなわち抵抗を増加させる原因となっている。
- ⇒ デバイス製造における創意工夫により、本欠陥を低減することで損失低減を実現。

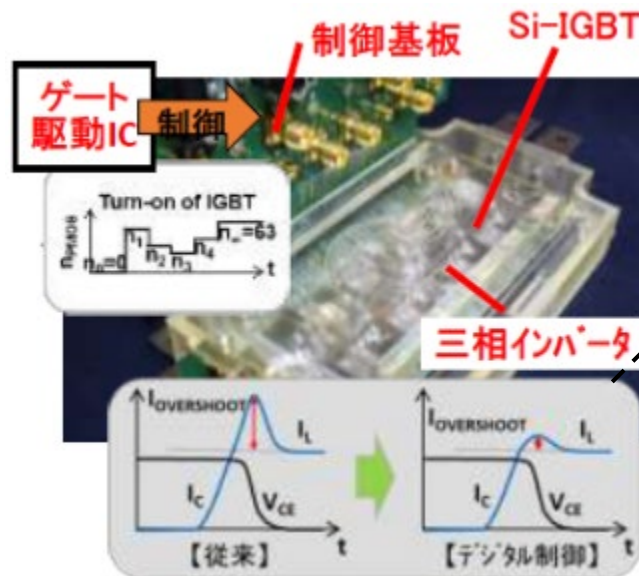
◎ 欠陥低減に向けたアプローチ



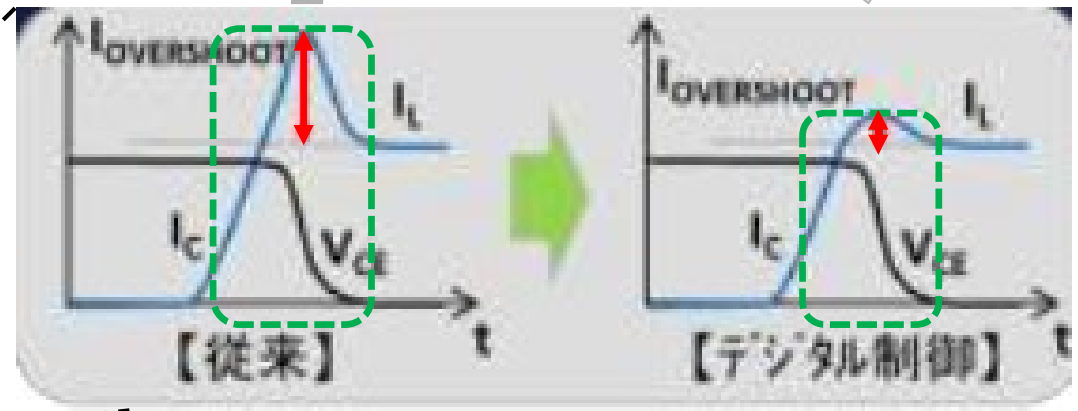
- 酸化膜(SiO₂膜)とSiCの境界(界面)に高密度の欠陥が存在
SiO₂/Siより約100倍多い
- 電子が上記欠陥に捕獲されて動けなくなる(抵抗が高くなる)
界面における電子の移動度:
Si: 500 cm²/Vs
SiC: 15~30 cm²/Vs
(移動度が小さく、高抵抗)

(参考) 高性能化に向けた技術課題②：制御技術

- 過去のNEDO事業において、Siパワー半導体に新たな制御技術を採用することで、OFF⇒ONスイッチの際の電流のオーバーシュートと損失低減を達成し、低損失化を実証。
- ⇒ Siパワー半導体よりも高速に動作する次世代パワー半導体に適した制御技術を開発することで、更なる損失低減を実現。



青線と黒線の積が損失
⇒デジタル制御により損失低減



出典：NEDO「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト」

(参考) ウェハ大口径化・高品質に向けた技術開発

- これまで「昇華法」によるSiCバルクウェハ製造が一般的であるが、転位や欠陥といった材料の品質や、大口径化が難しいといった課題がある。
- 大口径化・高品質化に向けては、昇華法以外にも、「ガス法」や「溶液法」といった様々な手法が研究開発されている状況であり、どの手法が主流になるかは現時点では判断が難しい。

⇒複数の技術方式を競争させつつ、大口径・高品質を両立するための最適な手段をステージゲートで評価し、有望な技術に絞り込みつつ、社会実装につなげる。

	昇華法	ガス法	溶液法
原理	SiCを昇華させて再結晶化	ガス原料を反応させて結晶化	炭素含有Si溶液中で結晶化
特徴	一般的な手法	・原料を連続供給 ・高純度原料 ・成分組成制御が得意	・Siの結晶化方法と類似 ・大口径、長尺、高品質化の可能性有
課題	・大口径化 ・長尺化※ ・高品質と高速の両立	・ガスの流れや温度制御 ・ガス導入部などの詰まり	・Si溶液中での炭素溶解度 ・金属汚染

※長尺化：インゴットをどれだけ長くすることが出来るか

次世代パワー半導体デバイス製造技術開発で想定される取組（例）

- パワー半導体は耐圧毎に技術課題に対する解決方法が異なるため、各用途に応じた耐圧レンジ（1.2kV級である電動車、1.7kV級である産業機器、3.3kV級以上の再エネ等電力、750V級以下のサーバ電源等）で細分化し、複数の取組を並行させることを想定（具体的な取組内容の組み合わせは、事業者の提案に委ねる）。
- 2030年までに、いずれも、電圧変換器や電源のPoCにより、損失低減効果を実証。

小容量帯 （サーバ電源等電源向け）



高効率・小型電源

- － 750V級以下
- － 高性能化・高信頼性化
- － 高品質結晶成長技術
- － 高効率制御技術
（例.電磁波ノイズ対策）
- － 回路技術開発
（例.高効率電源）

中容量帯 （xEV/産業機器向け）



電動車向けインバータ

- － 1.2kV級
- － 高性能化・高信頼性化
- － 大口径・高品質ウェハ
- － 高効率制御技術
（例.高効率モータ駆動）

産業機器向けインバータ

- － 1.7kV級
- － 高性能化・高信頼性化
- － 大口径・高品質ウェハ
- － 高出力密度化（例.急速充電）
- － モジュール技術（例.高放熱化）

大容量帯 （再エネなど電力）



再エネ等向け変換器・遮断機

- － 3.3kV級
- － 高性能化・高信頼性化
- － 大口径・高品質ウェハ
- － モジュール技術
（例.故障時の信頼性確保）
- － 高耐圧化
（例.系統など大電力変換）

他のプロジェクトとの連携

- 電動車・産業機器向け及び再生可能エネルギーなど電力向けパワー半導体については、それぞれ以下のグリーンイノベーション基金のプロジェクトと連携。

⇒ これらプロジェクトの実施者に対して本プロジェクトへのオブザーバとしての参画を求め、**社会実装に向けたリクワイアメントも取り入れながら開発**を進める。（例えば、リクワイアメントの変化に応じて柔軟に目標を修正する等）

自動車・蓄電池産業等

- ◆ 自動車は今後**電動化が進展**。
- ◆ **自動運転技術も高度化**することで、必要なセンサ等の**消費電力が増加**。



- **パワー半導体は電動車のモータ駆動に必要なインバータに用いられており、次世代パワー半導体による損失低減は自動車産業にとって重要**。
- パワー半導体の社会実装先として、**連携してプロジェクトを進める**。

【関連するプロジェクト】

⑫次世代蓄電池・次世代モータの開発

洋上風力産業関係

- ◆ 洋上風力の普及には**高圧直流送電が重要**。
- ◆ 効率的な送配電のためには**電力変換器の高効率化も必須**。



- 変換器の高効率化は次世代パワー半導体によって実現可能。
- 次世代パワー半導体の**高速動作**を活かすことで**変換器の小型化**の実現も可能。
- 2050年に向けて必要な高効率な再エネ電力送配電の実用化に向けた変換器の実証を行う。

【関連するプロジェクト】

①洋上風力発電の低コスト化

パワー半導体性能改善によるCO₂削減効果

- 次世代パワー半導体の適用により、サーバ電源、xEV、システムの電力変換において、合計1.5億t- CO₂ /年@2030年、3.2億t- CO₂ /年@2050年が期待される。
- 高効率化による電動車普及率前倒しや、風力発電容量の増加も期待されるため、上記数字以上のアウトカムが期待される。

(A)サーバ電源等電源向け
CO₂削減効果

◆ 1,100万t-CO₂/年@2030年
◆ 2,700万t-CO₂/年@2050年

パラメータ	数値
世界データセンタの消費電力	252TWh@2030年 612TWh@2050年
サーバ消費電力に占める電源の割合	20 %
損失低減効果	50 %
排出係数	0.441 Mt-CO ₂ /TWh

(B)xEV/産業機器向け
CO₂削減効果

◆ 1.4億t-CO₂/年@2030年
◆ 2.8億t-CO₂/年@2050年

パラメータ	数値
電動車のCO ₂ 排出量	90 g-CO ₂ /km
平均走行距離	21,726 km
世界の総自動車数	約14.3 億台
電動車普及率	50 %@2030年 100%@2050年
電動車における半導体損失	20 %
損失低減効果	50 %

(C)系統など電力変換向け
CO₂削減効果

◆ 217万t-CO₂/年@2030年
◆ 1,300万t-CO₂/年@2050年

パラメータ	数値
洋上風力発電量	234GW@2030年 1,400GW@2050年
洋上風力発電1MWにおける年間発電量	200 万kWh
1kWhあたりの風力発電のCO ₂ 削減量	0.000463 t-CO ₂ /kWh
現行の半導体の変換損失	2 %
次世代パワー半導体による損失改善量	50%

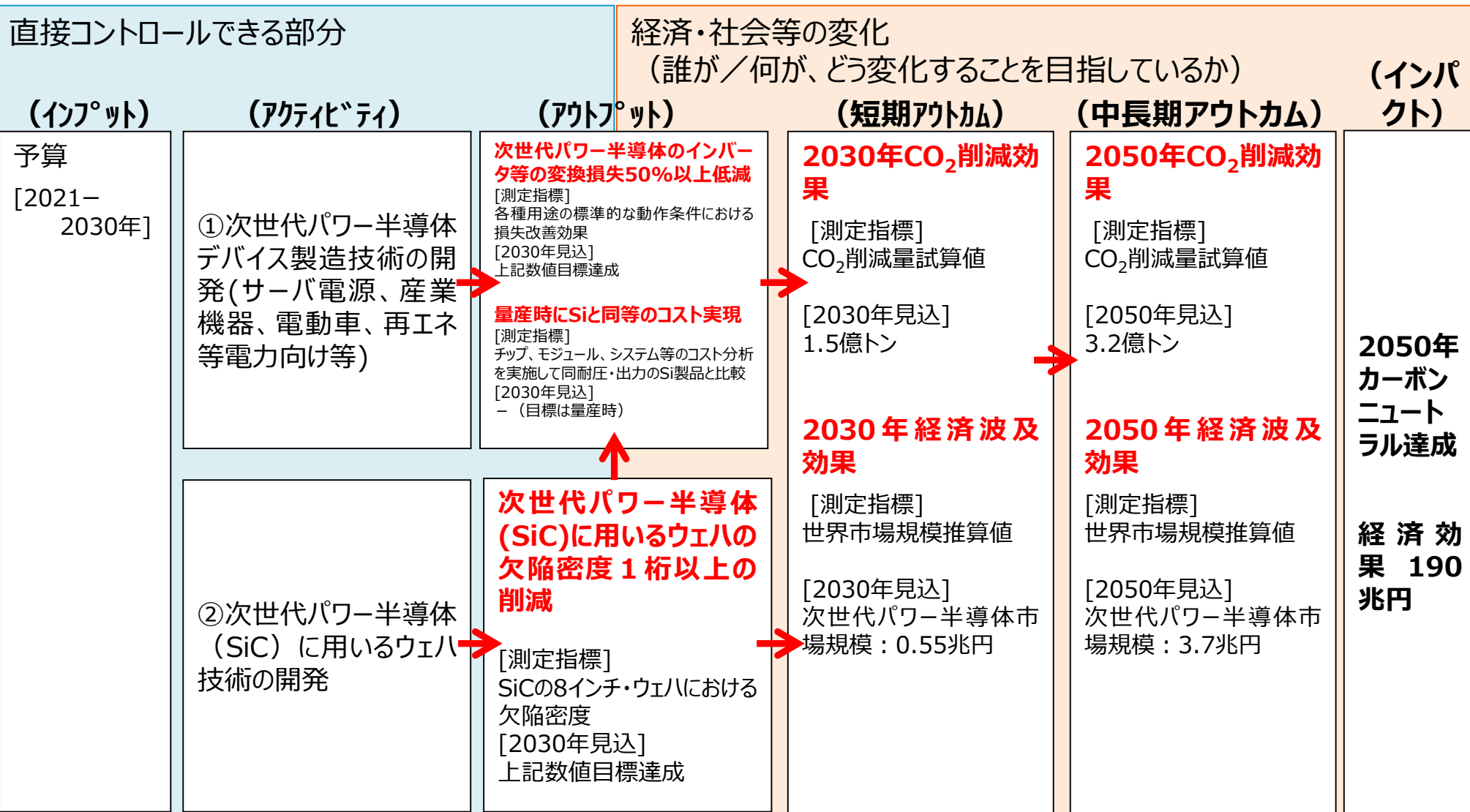
実施スケジュール（次世代グリーンパワー半導体）

- 市場拡大に合わせて国際競争力を強化できるよう研究開発を実施し市場の本格立ち上がり時期と重なることから、PoC前倒しによる事業終了について妨げない。
- 技術動向の変化が激しい分野でもあるため、毎年のWGの議論も経て、ユーザーのリクワイヤメントを基にして目標を修正。
- また、ウェハ開発においては、複数社のデバイスメカによるウェハ単独での性能等の改善効果を定期的に評価することを要件とする。
- 10年未満の事業化も想定し、ステージゲート審査については2～3年に1度実施。

		2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度～
ステージゲート審査							
研究開発項目 1： 次世代パワー半導体デバイス製造技術開発 － 自動車向け － 産業機器向け － 再エネ等電力向け － サーバ電源向け 等		目標達成に向けたデバイス設計			デバイス構造の基本検証		
		性能目標達成に向けた要素技術開発			デバイス試作及びPoC		
		低コスト化に向けた要素技術開発／制御技術など開発					
研究開発項目 2： 次世代パワー半導体に用いるウェハ技術開発		大口径化に向けた要素技術開発			8インチ成長法開発		8インチ・低欠陥に向けたSiC結晶成長技術

▼：ステージゲート

(1) 次世代グリーンパワー半導体



アウトプットの達成が、アウトカムの発現につながることを示すエビデンス

※レポートベースでのエビデンスを提示。FSを行った場合には結果に即した記載をする。

- ① 想定アプリケーションの全損失におけるパワー半導体の占める割合を算出。
- ② グリーン成長戦略記載の通り50%の損失改善により削減されるCO₂排出効果を算出。

本プロジェクトで取り組むテーマ

(1) 次世代グリーンパワー半導体

(2) グリーンデジタルコンピューティング

・次世代グリーンデータセンター

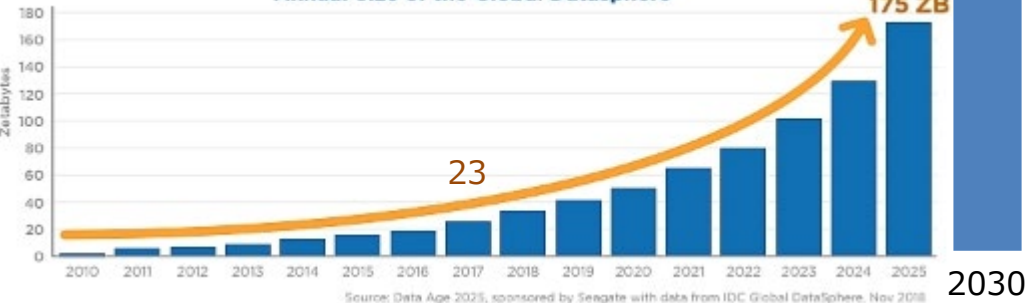
世界のデータ量とデータセンター市場規模

- 世界のデータ量は年間約30%のペースで急増。
- それに伴い、データセンターサーバーの市場規模は拡大の一途。世界全体で2019年は6兆円、2030年には25兆円の見込み。（クラウドサービス市場は2020年に13兆円*）

*Synergy Research Group

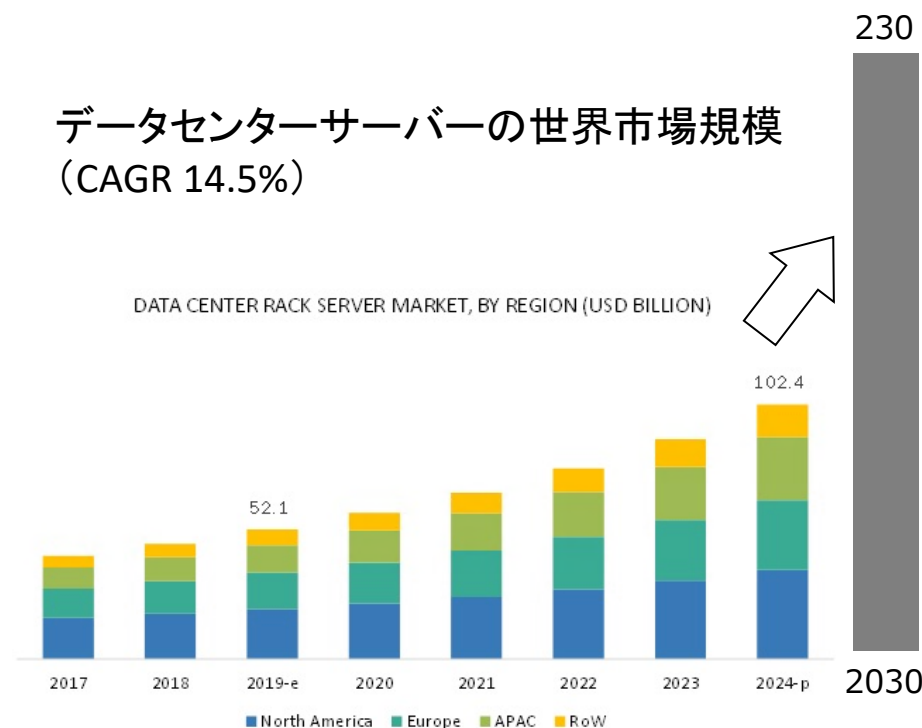
世界のデータ量
(CAGR 28.9%)

Annual Size of the Global Datasphere



データセンターサーバーの世界市場規模
(CAGR 14.5%)

DATA CENTER RACK SERVER MARKET, BY REGION (USD BILLION)



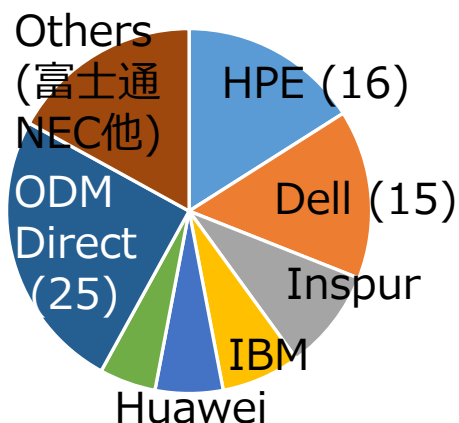
e: estimated; p: projected

Source: MarketsandMarkets Analysis

データセンターサーバ市場の構造変化

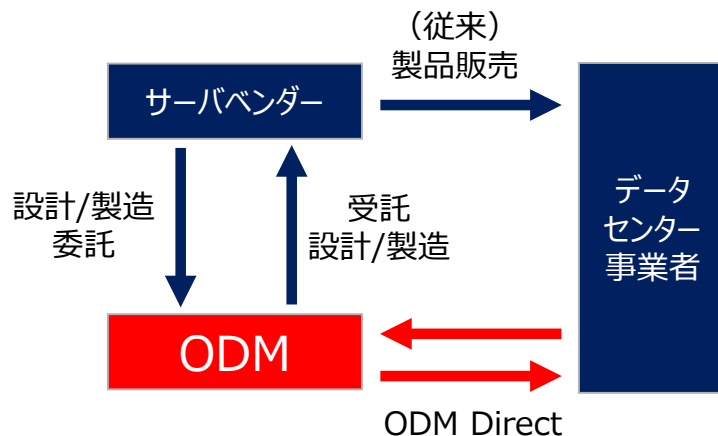
- データセンター市場は世界的なサーバメーカーがシェア上位を占めており、日本勢は海外市場で苦戦しているのが現状。
- これまでは、サーバの中身はブラックボックスであり、サーバメーカーがサーバ単位でセット販売。
- 一方で、GAFAM等がオープン化を主導し、自ら要素デバイスを選定して（部品買い）、ODM企業に製造を委託。光電融合技術を進めるIOWN構想でもオープン化を指向。サーバ市場の構造変革が進行。
- こうしたゲームチェンジの進展により、我が国を含めたデバイス企業が、いち早く技術的優位性を確保して各デバイスのレイヤーマスターとなることで、データセンターサーバ市場に参入することが可能に。

世界サーバ市場



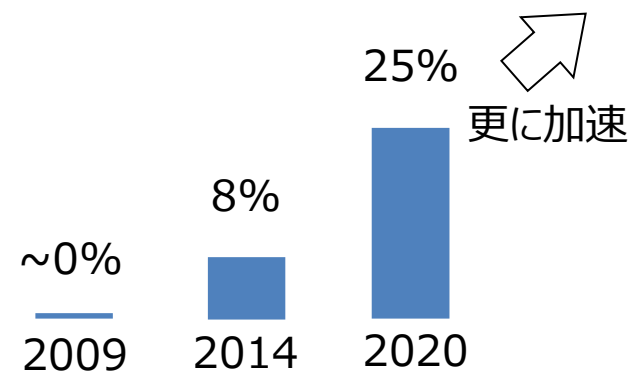
Source: IDC 2021

サーバの販売チャンネルの変化



ODM : Original Design Manufacture
(主に台湾企業 : Quanta, Wistron, Inventec など)

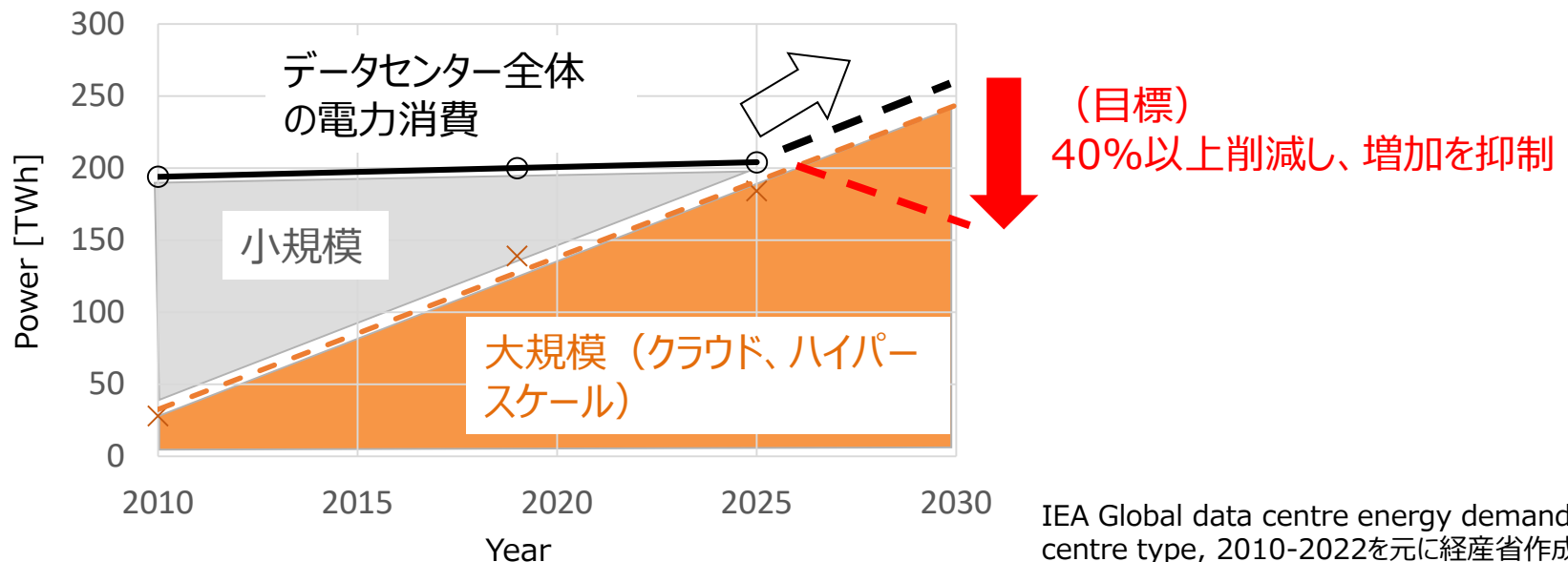
ODM Directのシェア推移



Source: IDC

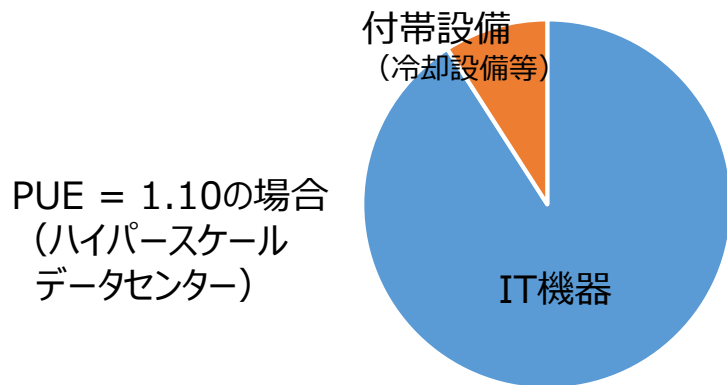
データセンターの電力消費の状況と本プロジェクトの目標

- これまでは、従来型データセンターから、効率の良い大規模なクラウド型・ハイパースケール型データセンターに置き換わることにより、世界のデータセンターの電力消費量の増加は比較的抑制できていた。(2010～2019年は約 200 TWh 程度で微増。世界の電力消費の0.8%)
- 一方で、今後は大規模データセンターの急増により、データセンター全体の電力消費量も増加に転じることが予想され、これまでの技術進化では、電力消費量の増加に追いつかないと予想される。
- こうした背景の下、本プロジェクトでは、光電融合技術等をデータセンターに適用することで、2030年までに、現時点の最先端のデータセンターと比べて40%以上の省エネ化を実現する。



データセンターのグリーン化の取組全体における本プロジェクトの位置づけ

- データセンターのIT機器（サーバ等）の消費電力比率は年々上昇しており、IT機器を省エネ化することはデータセンターのグリーン化に大きな効果がある。本プロジェクトにおいては、データセンターの消費電力の約9割を占めるIT機器の省エネ化に取り組む。
- 一方、世界的なカーボンニュートラルの流れの中、データセンター事業者（Google、AWS）は、再エネ利用等によるグリーン・データセンターを指向。冷却が容易な寒冷地での建設も進む。
- こうした中、IT機器の省エネ化以外にも、政府として以下の取組を実施・検討。
 - － 経産省において、データセンター業の省エネベンチマーク制度対象化（IT機器/付帯設備の省エネを評価）や立地計画策定等の政策パッケージを検討中。
 - － 環境省において、令和3年度から「データセンターのゼロエミッション化・レジリエンス強化促進事業」により、再生可能エネルギーを活用したデータセンターの新設・移設・改修を支援。
 - － NEDO・グリーンITプロジェクト(平成20～24年度)により、冷却システム省エネ化の研究開発を実施。



*Power Usage Effectiveness

$$PUE^* = \frac{\text{IT機器の消費電力} + \text{付帯設備の消費電力}}{\text{IT機器の消費電力}}$$

(1に近いほど高効率)

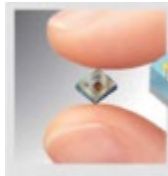
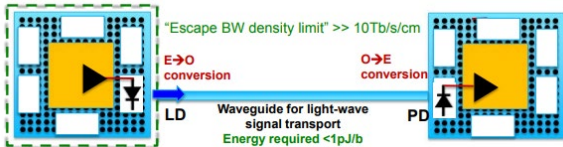
IT機器省エネ化の方向性①：光電融合技術

- データセンターの革新的省エネ技術に向けて、「光電融合技術」がゲームチェンジ技術として登場。
- 光電融合技術は、電子デバイスに光エレクトロニクスを融合し、電気配線を光配線に置き換えることで、省エネ化・大容量化・低遅延化を実現（ネットワークシステム全体で電力消費1/100）。
- 未だコンピュータ内には活用されていないが、各国で国・民間プロジェクトが立ち上がり、大きな研究開発トレンド（日本が先行）となっている。

光配線技術に関連した各国の国・民間プロジェクト

<https://arpa-e.energy.gov/technologies/programs/enlitened>

機関・課題名		内容	総額	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
米	DOE, ARPA-e ENLITENED	光集積技術により情報伝達を電気から光に変え、データセンターのエネルギー効率を改善。	\$25M									
	DOD, DARPA PIPES	光を使ってチップ間の接続性能を大幅に改善。(100 Tbps, 1pJ/bit)	\$45M									
	DOD, DARPA LUMOS	異種材料集積によって多数のレーザを集積し、光ニューロモルフィック計算などに応用	\$70M									
	HPE The Machine	メモリドリブンコンピューティング+光接続	—									
欧	Microsoft Optics for the Cloud	クラウドコンピューティングへの光技術の適用とそれによる新しい応用の開拓	—									
日	NEDO 光エレ実装事業	チップ間等のデータ通信の光配線技術とその実装技術の基盤技術開発	228億円									
	NTT IOWN	光を中心とした革新的技術を活用したネットワーク・情報処理基盤	—									

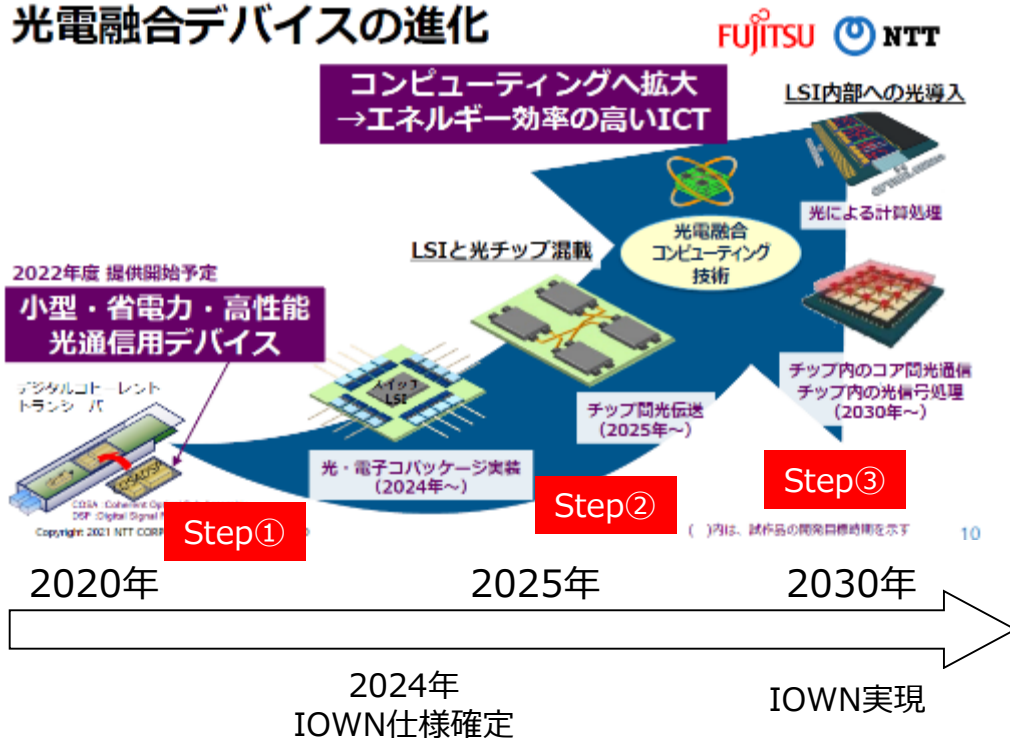


日本がいち早く、プロジェクトを組成し、研究開発に着手、技術で先行（技術研究組合が実施）

(参考) IOWN構想

- **NTTはIOWN構想**を2019年に提唱し、海外プレーヤーを巻き込んだIOWN グローバル・フォーラム（NTT、インテル、ソニーにより2020年に設立）で国際標準に向けた議論等を開始。
- **ネットワークから端末、チップの中にまで光電融合技術を導入**することにより、実現が困難であった超低消費電力化、超高速処理の達成を目指す（電力効率100倍、伝送容量125倍、遅延1/200）。
- 2024年に仕様確定、2030年の実現を目指している。

光電融合デバイスの進化



NTT, Intel, Sony, Ciena, Cisco,
HPE, Dell, Microsoft, Fujitsu,
NEC, Toyota ほか52社

IT機器省エネ化の方向性②：キーデバイスの高性能化・省エネ化

- データセンターでは、サーバを構成する要素デバイス（CPU、アクセラレータ、メモリ等）が消費電力において大きな割合を占める。
- そのため、データセンターあたり40%以上の省エネ化を実現するために、サーバを構成する要素デバイス（CPU、アクセラレータ、メモリ等）の開発を一体的に実施。それぞれ省エネ化目標を設定し、合算してデータセンターあたりの目標をクリアする。

省エネ化目標の考え方

PUE = 1.56※の場合

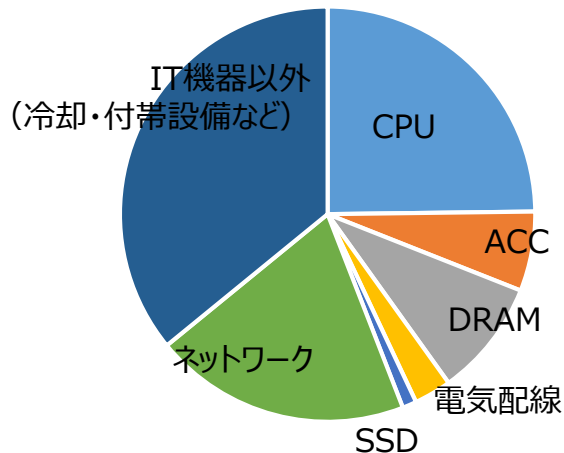
光への適合 + 高性能化

開発要素	電力削減 (単位性能あたり)
ディスアグリゲーション (動的制御)	全体で20%
CPU	90%
アクセラレータ	90%
D R A M	60%
電気→光配線	90%
光 N I C	25%

43%

※「IT機器以外」も減少する可能性があるが、本プロジェクトの目標を明確化するために「IT機器以外」は変化しないと想定
※本プロジェクト期間内に光配線を実装しないDRAMを除いた光システム実証においては37%

データセンター消費電力内訳



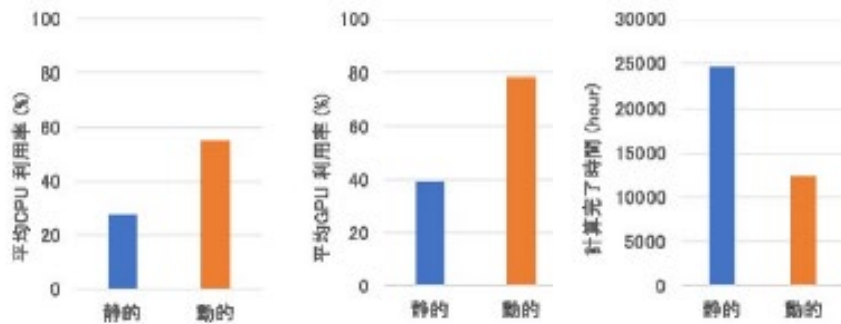
(出所) 富士通/データセンターのPUE (電力使用効率) 改善、

“The Datacenter as a Computer: Designing Warehouse-Scale Machines, 3rd ed.”, Morgan & Claypool Publishers (2018)等を元に作成

IT機器省エネ化の方向性③：ディスアグリゲーション技術

- ディスアグリゲーションは、サーバをCPUやメモリ等の機能単位で分割し、計算負荷に最適配置することで、システム全体を高効率化する技術。
- ディスアグリゲーションに必要な、ハードウェアの動的構成ができる接続規格が次々登場（CXL, Gen-Z, CCIX, OpenCAPI, ExpressEtherなど）。一方、大規模なディスアグリゲーション・システムを実現するためには、各機能を接続する配線の大容量化が課題。
- 光配線技術は、大容量で距離の制限も排除できるブレイクスルー技術。例えば、IOWNは、フォトリック・ディスアグリゲートド・コンピューティングを提唱し、光データ伝送路に基づくサーバレスなコンピューティングへパラダイムシフトを狙う。

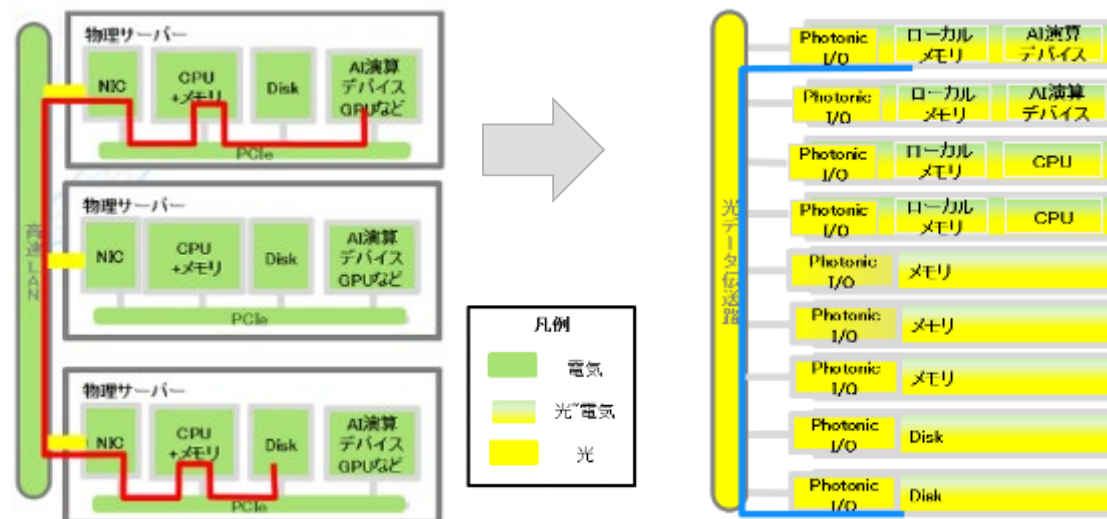
ディスアグリゲートド・コンピューティング
による効率化の効果



(出所) [大阪大学サイバーメディアセンター](#)

※動的=ディスアグリゲーション技術を活用

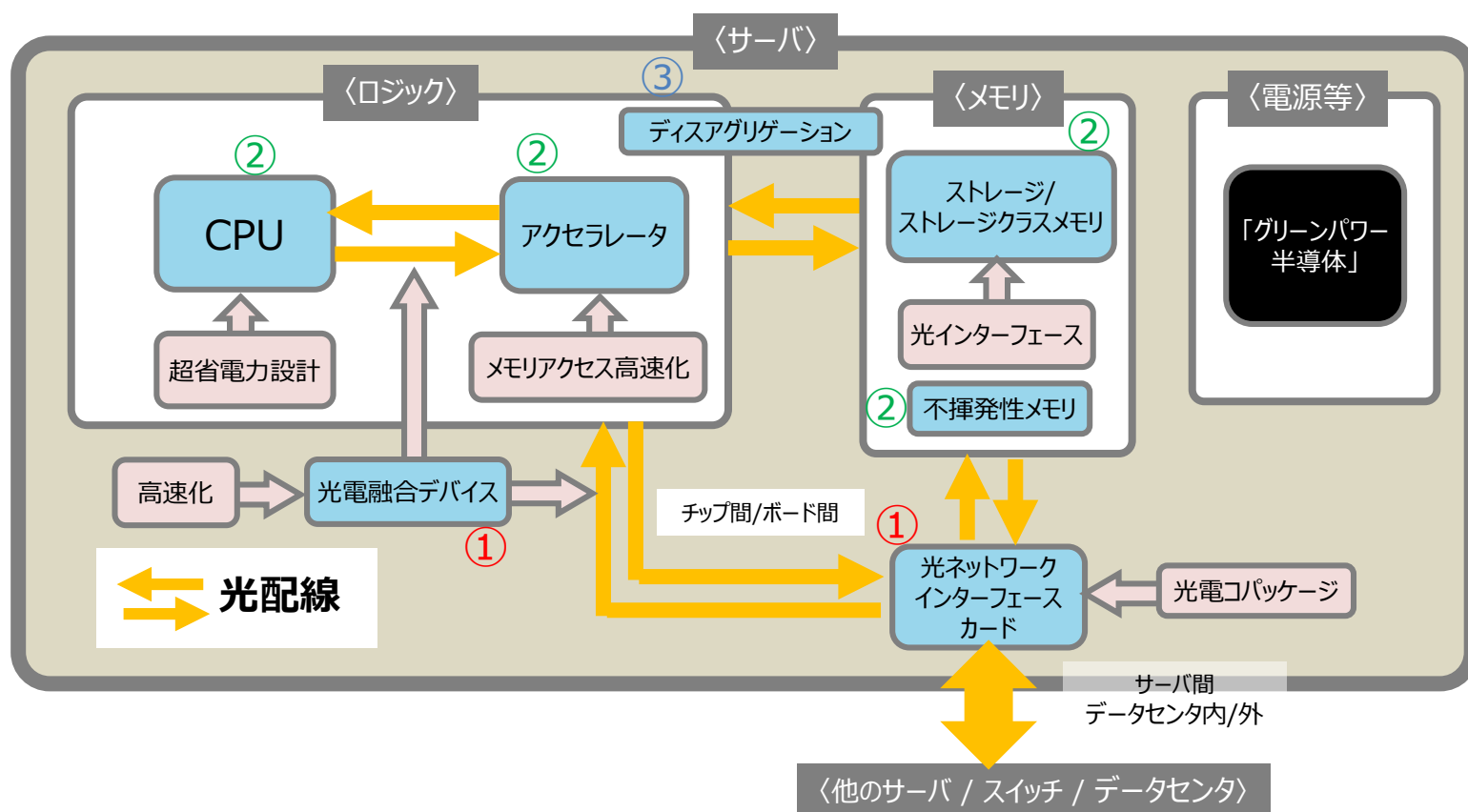
IOWNにおけるフォトリック・ディスアグリゲートド・コンピューティング



(出所) [NTT/IOWN構想の実現に向けた技術開発ロードマップ](#)

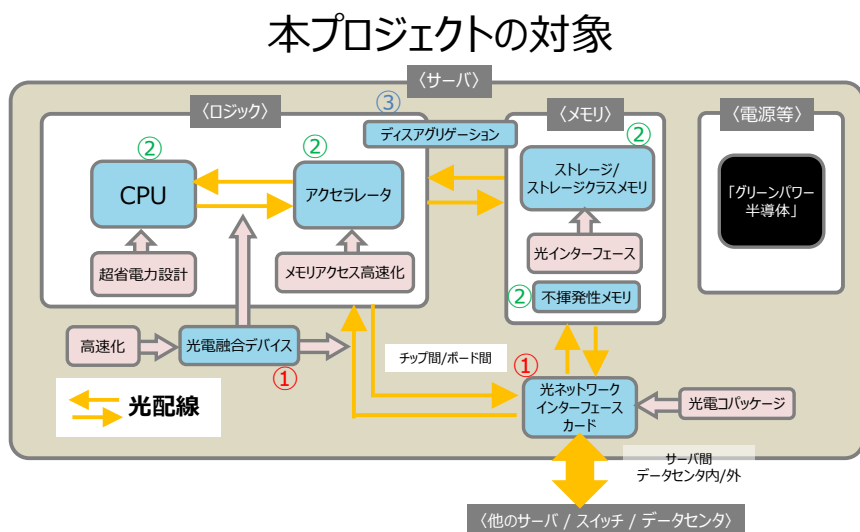
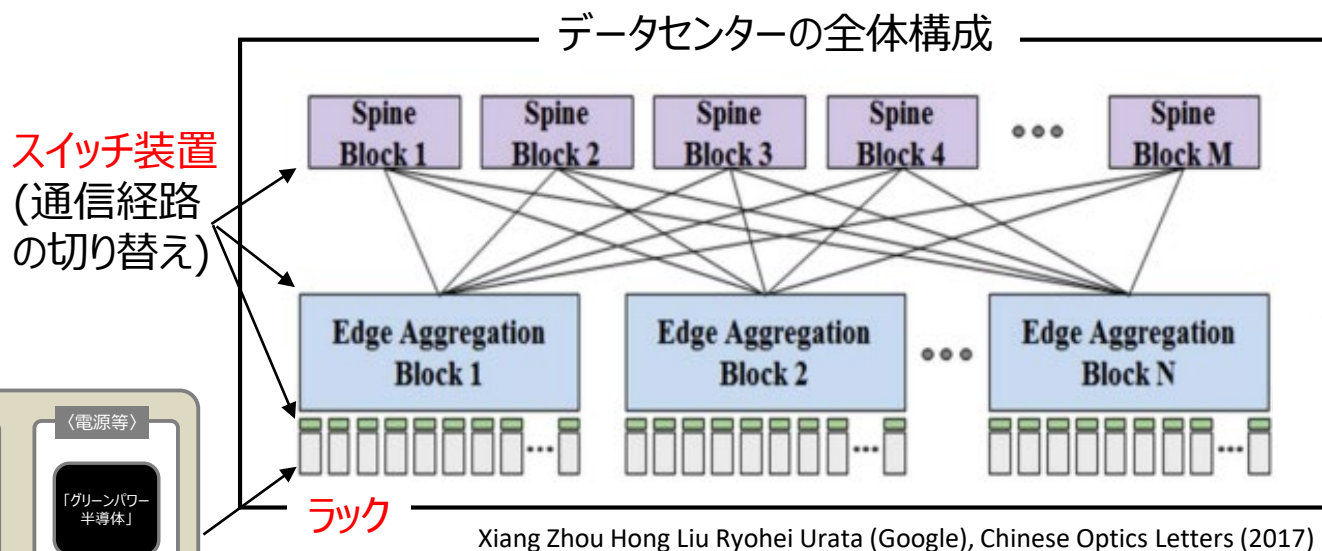
次世代グリーンデータセンターの開発（全体像）

- 2030年までに、①光エレクトロニクス技術の開発、②光に適合したチップ等の高性能化・省エネ化技術の開発、③ディスクアグリゲーション技術の開発により、データセンターの40%以上の省エネ化を実現。 ※IOWN構想と連携



次世代グリーンデータセンターの開発（全体像）

- データセンターは多数のサーバを搭載したラックを、数万～数十万台接続して構成される。
- 本プロジェクトでは、まだ光化されていないラック内、サーバ内を対象としており、ネットワークを構成するスイッチ装置、伝送路は対象外（米シスコ社が過半のシェアを持つ）。
- サーバ内においても、主要な要素デバイスのうち日本企業に強みがあるものを対象としており、GPU、FPGAなどは対象外。



次世代グリーンデータセンター関連の研究開発内容について

- データ流通量の増大に伴うデータセンターの消費電力増大、サーバ市場における構造変化等の中で、サーバの各要素デバイス・システムで世界のトップランナーとなるために必要な省エネ性能にかかる目標を設定。
- 開発要素のうち、光電融合デバイスは実施者の裨益が相対的に小さく、波及性が大きい基盤領域であるため委託での開始を想定。
- 2025年には、大阪・関西万博も活用しながら中間成果を世界に発信し、国内外からの注目や投資を呼び込み、社会実装に向けた取組を加速化する。

研究開発目標とその考え方等

- 目標：2030年までに、①光エレクトロニクス技術、②光に適合したチップ等要素デバイスの高性能化・省エネ化技術、③ディスアグリゲーション技術を開発し、データセンター全体の40%以上の省エネ化を実現
- サーバの要素デバイス（光電融合デバイス、光ネットワークインターフェースカード、CPU、アクセラレータ、メモリ、ストレージ）およびディスアグリゲーション技術に対して、それぞれ省エネ性能目標を割り当て、合算してデータセンターあたり40%以上の省エネ化を目標とし、各技術を組み合わせた実証により、その達成度を評価する。各技術開発を担う複数の事業者が一体的に取り組む必要があるため、共同での提案を想定。

目標

①光エレクトロニクス技術開発（補助）

②光に適合したチップ等要素デバイスの高性能化・省エネ化技術（補助）

③ディスアグリゲーション技術開発（補助）

※光電融合デバイス開発は委託で開始

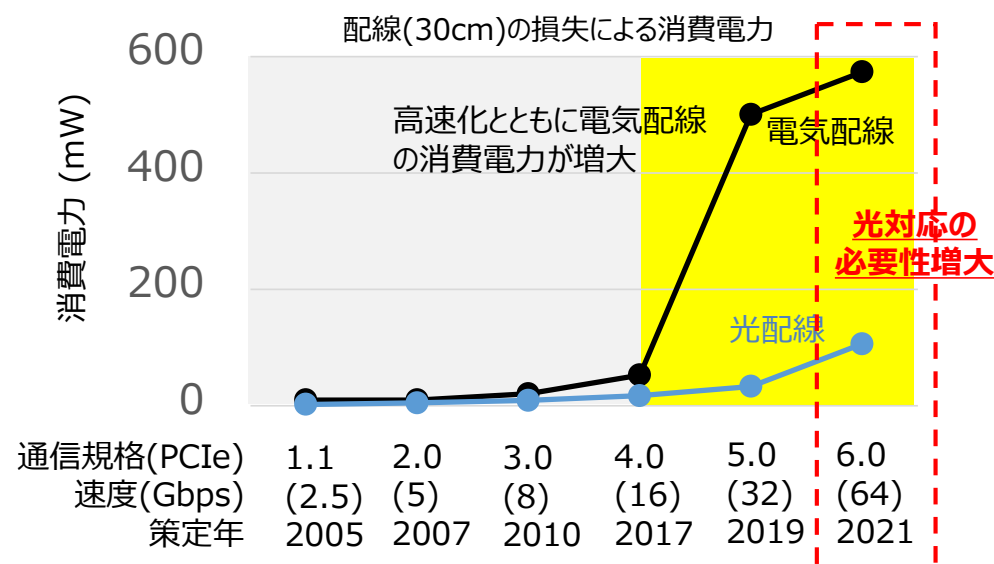
①-1. 光エレクトロニクス技術開発：光電融合デバイス開発

- サーバボード上（チップ間など）の短距離通信においても高速化が進み、電気配線では消費電力が増大し、光配線化の必要性が高まっている。
- 従来の光エレクトロニクス・デバイスである「光トランシーバ」は長距離通信市場、およびデータセンターネットワーク市場が主戦場。チップ間の光配線のための超小型光トランシーバである「光電融合デバイス」は未開拓市場であり、世界的に研究開発が進められている状況。

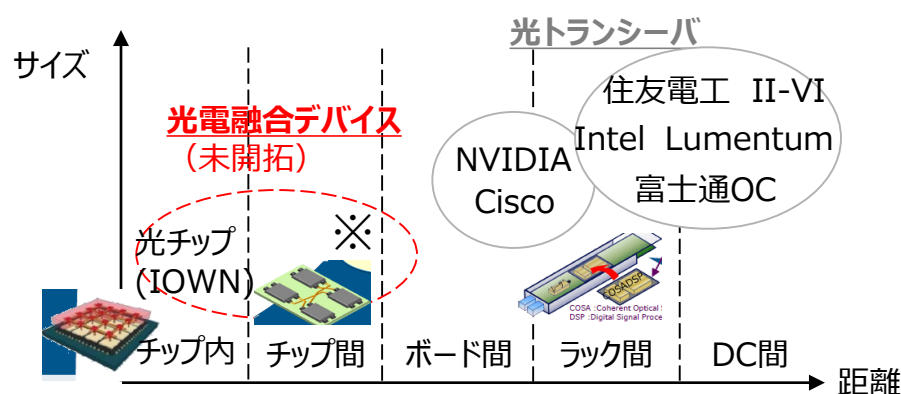
⇒ 先行するNEDO事業の研究開発成果も活用しつつ、2025年以降に主流となる通信規格PCIe6.0に対応した高速化技術を開発し、チップ間接続の消費電力90%削減を目指す*。これを、本プロジェクトの共通光配線技術として採用。

*現時点における一般的なサーバボード上通信距離におけるPCIe6.0の電気配線と比較

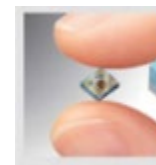
開発のターゲット



光エレクトロニクス・デバイス市場動向

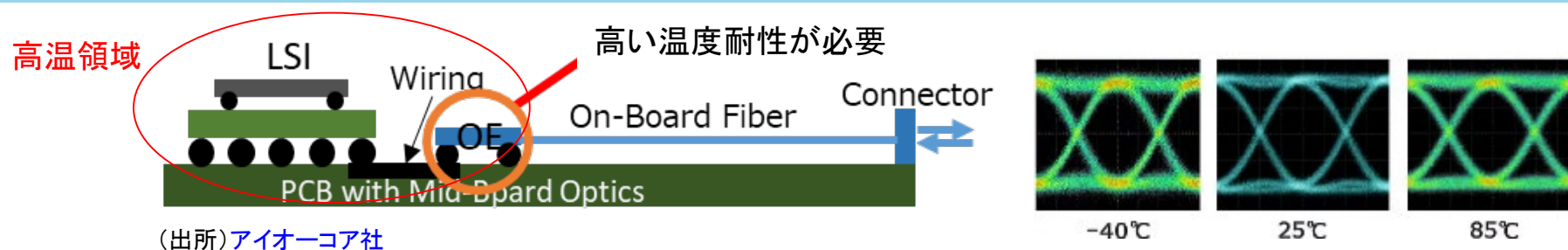


※NEDO「超低消費電力光エレクトロニクス事業」(～2021年度)
超小型光トランシーバの基盤技術を確立
(25Gbpsに対応、PCIe6.0には未対応)

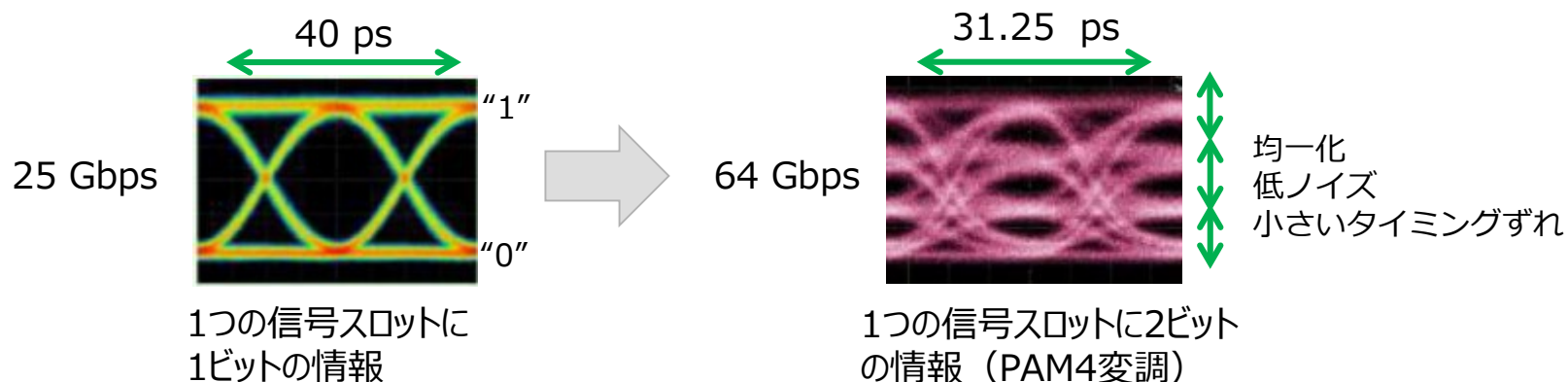


(参考) 光電融合デバイスの技術課題の例

- 発熱が大きいチップに近接して実装するため、光電融合デバイスは高温で動作する必要がある。
既存事業においては、温度依存性が小さい量子ドットレーザを搭載することで解決。
- しかし、通信速度を25→64Gbpsへと高速化するにあたり、変調信号が複雑化するため、信号を正しく読み取り、処理するための高度な回路設計技術や、それによる発熱の増加に対応できる高放熱実装技術が必要。
- 更なる高速化・省エネ化には、オンパッケージ化とそのためのチップの発熱抑制（低電圧化・低ノイズ化）が課題



64Gbpsへの高速化のために2ビット化 → 信号が複雑になるため高度な信号処理回路が必要



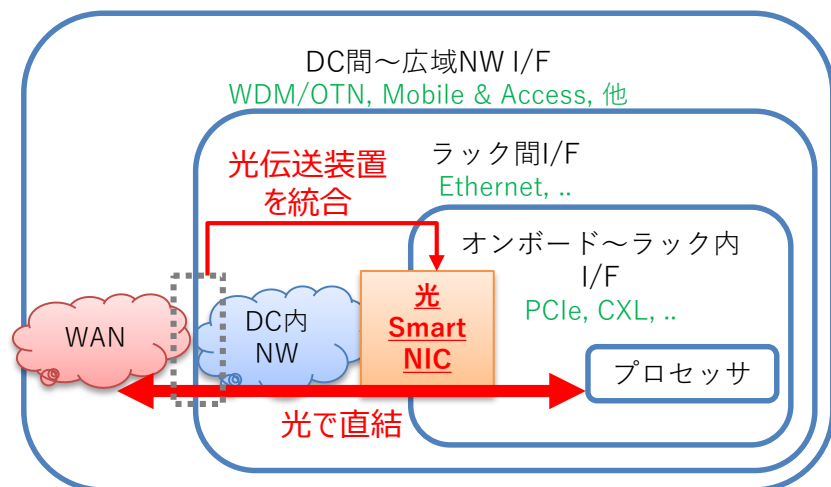
①-2. 光エレクトロニクス技術開発：光スマートNIC開発

- データセンターのCPUには大きな計算負荷がかかるため、通信に係る処理を分担するプロセッサを搭載したスマートNIC（NIC：ネットワークインターフェースカード）の開発・利用が進展。
- スマートNIC市場は拡大しつつあり、様々なスマートNICが各社から発表されている状況。
（2020年 \$270M、2024年まで \$848M *Dell'Oro Group）

⇒ 世界に先駆けて、データセンター間の長距離光通信からサーバ内光配線までをシームレスに光接続できる「光スマートNIC」を開発し、ビットあたり消費電力1/10*、データセンターネットワークの消費電力25%削減を目指す。

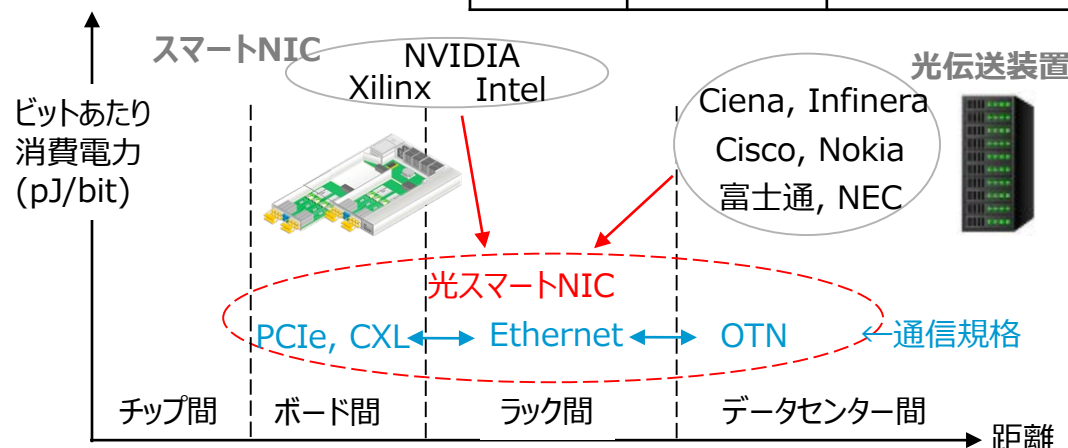
*現行伝送装置・スマートNICのビット当たり消費電力の値と比較。

開発のターゲット



スマートNIC市場動向

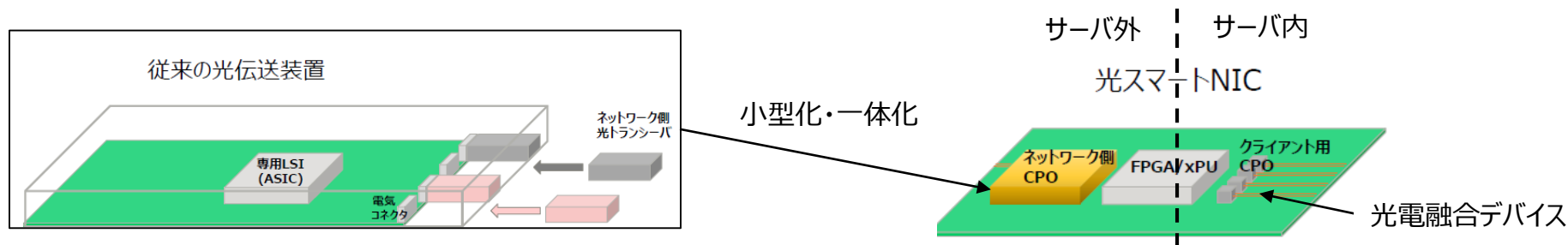
発表年月	企業	スマートNIC名
2020. 5	NVIDIA	ConnectX -6 Lx
2021. 2	Xilinx	Alveo SN1000
2021. 6	Kalray	K200-LP
2021. 6	Intel	IPU



(参考) 光スマートNICの技術課題の例

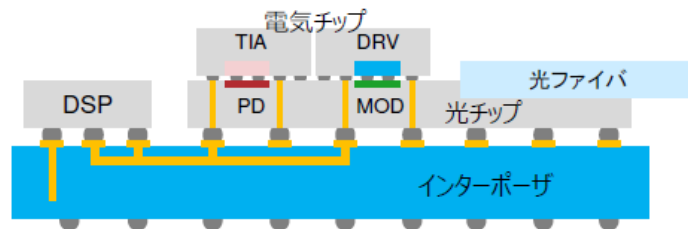
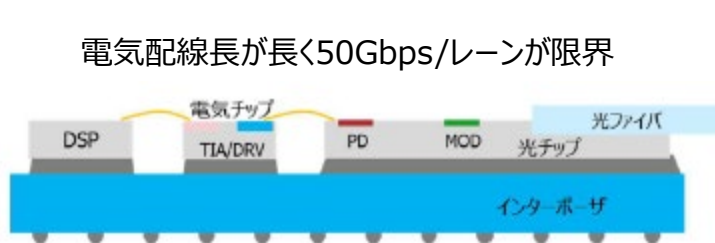
- 現在、データセンタ間通信に使われている大型の光伝送装置をスマートNICと一体的に実装し、サーバと直接接続するためには、「小型化」が必要。
- さらに、今後、主流となる長距離光通信（IEEE 802.3）に必要な超高速信号 100Gbps/レーン に対応するためには、従来の配線方法では限界があるため、積層実装等により、配線長を短縮する必要がある。

課題①：スマートNICと光伝送装置を一体化するための「小型化」



課題②：超高速信号に対応するための「配線技術」

積層実装等により配線長を短縮 → 100Gbps/レーンを実現



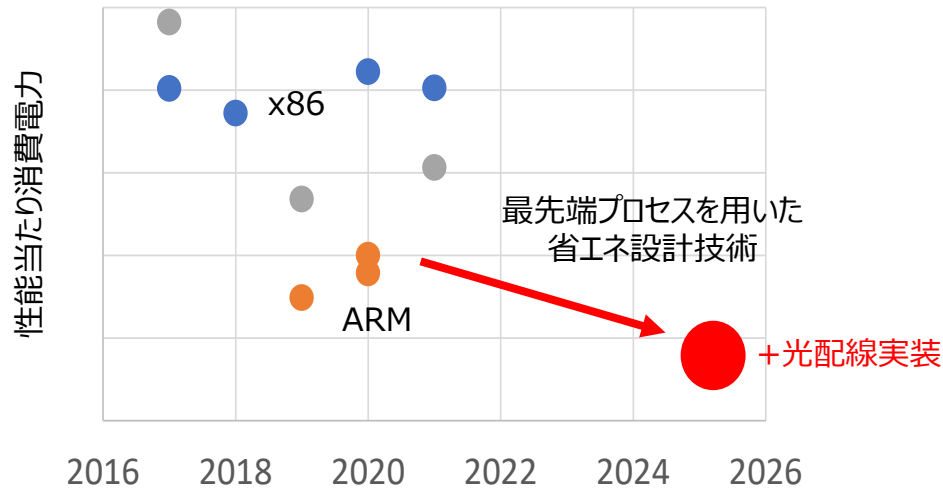
②-1. 光に適合したチップ等の高性能化・省エネ化：省電力CPU開発

- サーバ向けCPUはx86プロセッサ（インテル、AMD）がシェア90%以上。一方、スマートフォン向けCPUは省エネ性能に優れるARMプロセッサがシェア90%以上。
- データセンターにおいて最も電力を消費するサーバ向けCPUとして、省エネ性能に優れるARMプロセッサが次々に発表され、市場構造が変わりつつある。

⇒ 光配線を実装すると共に、命令セットの少ないCPU設計アーキテクチャ（ARM）を用いた上で、微細化、回路設計技術の高度化等により、現行CPUに対し10倍の電力効率向上を目指す*。

*広く実績のあるベンチマーク（H P L など）を用いて性能当たりの電力削減効果を比較

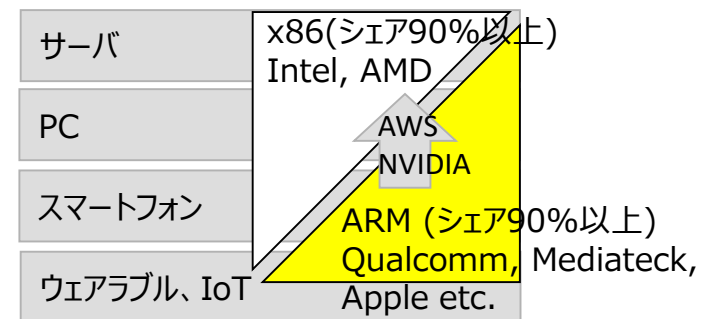
開発のターゲット



CPU市場動向

(ARMベースのサーバ向けCPU)

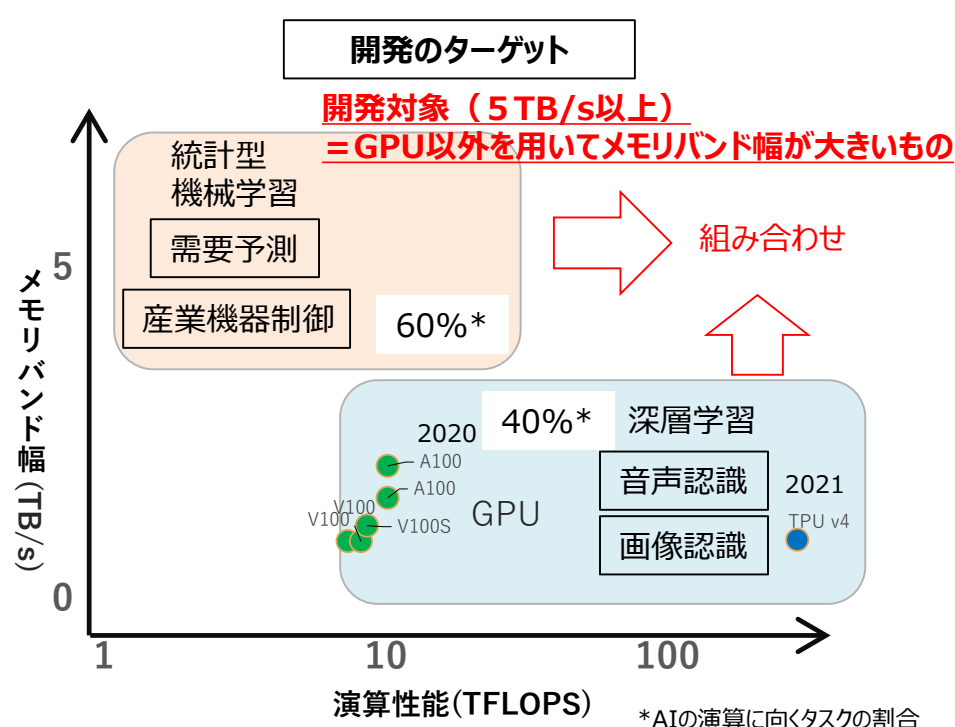
発表年月	企業	CPU名
2019. 12	AWS	Graviton 2
2020. 3	Ampere Computing	Ampere Altra
2021. 4	NVIDIA	Grace



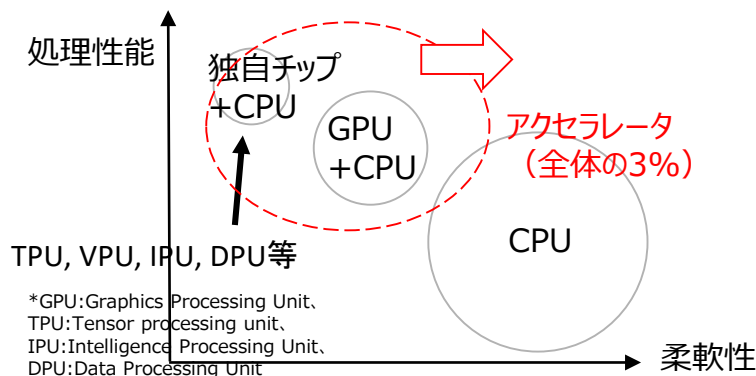
②-2. 光に適合したチップ等の高性能化・省エネ化：省電力アクセラレータ開発

- AIの計算においては、汎用CPUだけでなく「アクセラレータ」と呼ばれるAI計算に優れたプロセッサを追加することによって、処理性能、省エネ性能が大幅に向上できる。
 - 画像処理に優れるGPUが活用され始めているが、GPUを含むアクセラレータを採用しているサーバは2019年時点で3%程度であり、今後市場の拡大が見込まれ、様々なアクセラレータが各社から発表されている状況。しかし、GPU以外のアクセラレータの開発は進んでいない。
- ⇒ 光配線を実装すると共に、GPU等ではカバーしきれない幅広いアプリケーションに対応できる省電力アクセラレータを開発し、現行CPU比10倍の電力効率向上を目指す*。

*広く実績のあるベンチマーク（HPL-AIなど）を用いて性能当たりの電力削減効果を比較



アクセラレータ市場動向			
発表年月	企業	アクセラレータ名	用途
2019. 11	Intel	Movidius VPU	深層学習
2020. 7	Graphcore	IPU M2000	深層学習
2021. 4	NVIDIA	DPU BlueField 3	ネットワーク
2021. 5	Google	TPU v4	深層学習

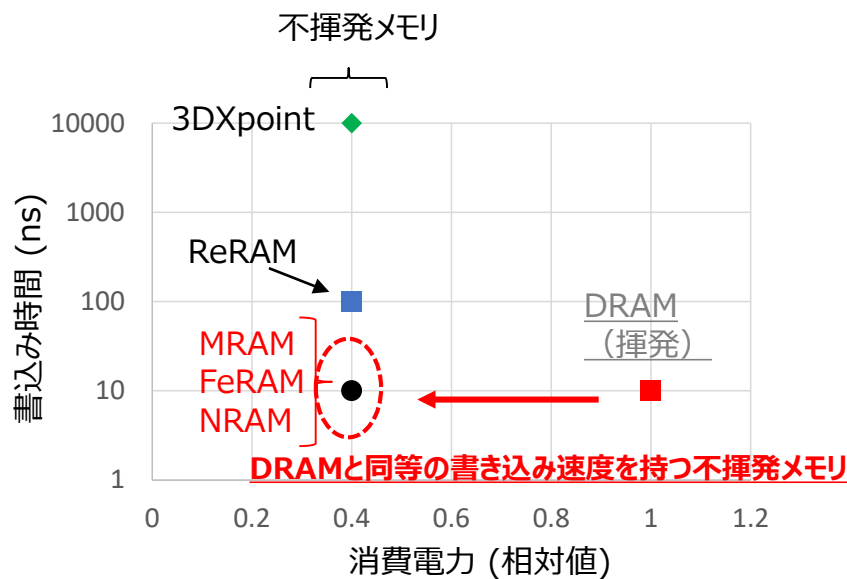


②-3. 光に適合したチップ^o等の高性能化・省エネ化：不揮発メモリ開発

- DRAM(メインメモリ)は3社寡占状態（日本企業は不在）。大容量化、低コスト化の投資競争。
- 今後、DRAMの大幅な省エネ化の要請が高まる中で、不揮発性メモリがゲームチェンジ技術となる可能性。次世代のメモリ技術候補の開発が行われている。

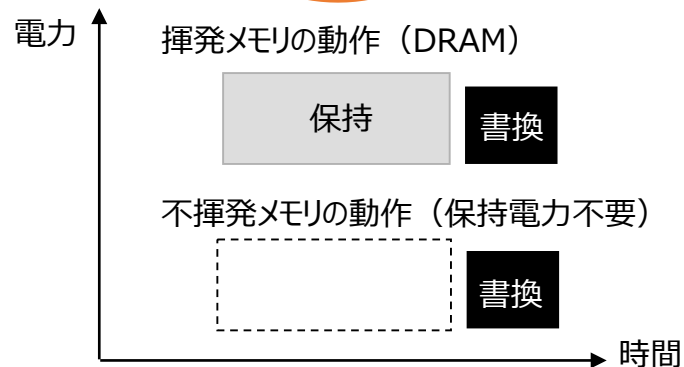
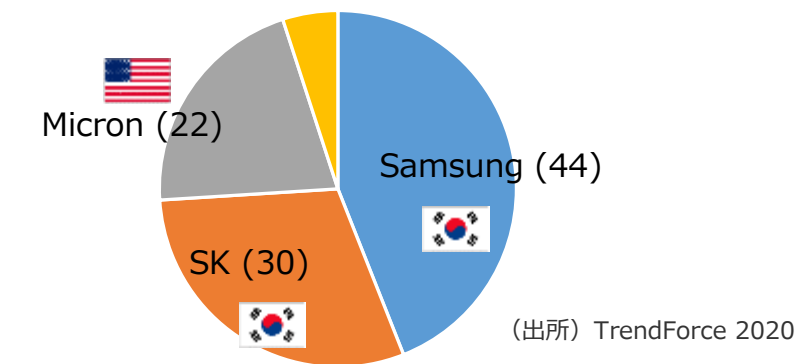
⇒ DRAMと同等の書き込み速度を持つ不揮発メモリの中から、大容量化やコストの面でDRAM代替が可能な不揮発メモリを実用化し、消費電力60%削減を目指す。※本開発では、材料・プロセスの開発から実施するため、2030年段階では光技術への適合は求めない。また、消費電力削減は、保持電力の削減効果から定量的に評価し、DRAMと比較する。

開発のターゲット



(出所) Yole, Techinsights

DRAM市場動向



(参考) 不揮発メモリの技術方式の比較と技術課題

- DRAMと同等の書き込み速度（10ns程度）を持つ不揮発メモリとして、例えば、MRAM、FeRAM、NRAMが挙げられる。
- MRAM、FeRAMは集積度およびコストに課題。NRAMは、同様に集積度に課題が存在するものの、コストには一定の優位性がある。

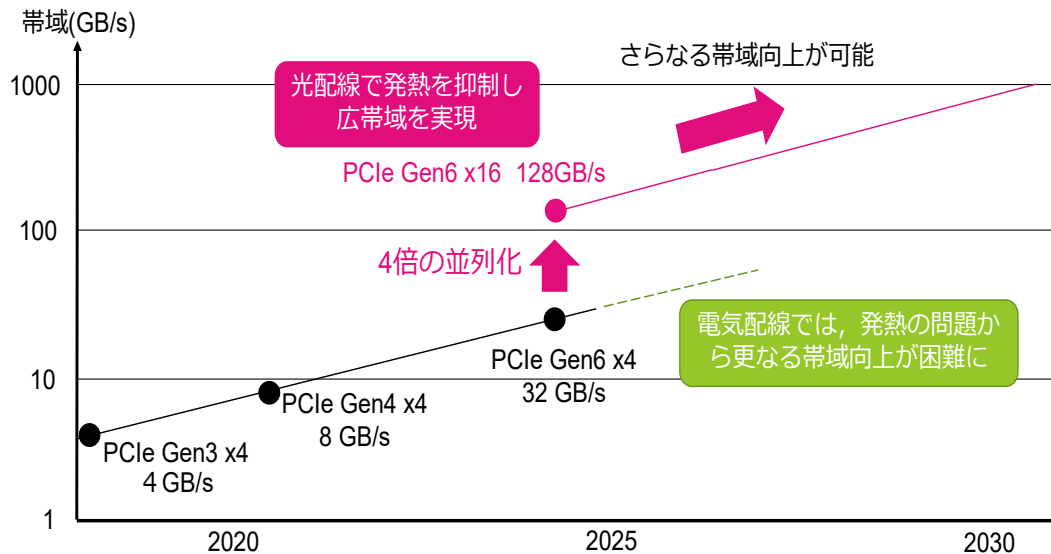
メモリの方式	動作原理	集積度 (DRAMレベルの16Gb以上)	コスト
MRAM	・磁性体の磁化方向によるメモリ ・電流により切り替え(抵抗変化)	使用する貴金属は反応性に乏しく、微細化が困難。MgOが追加プロセスに弱く多層化困難	大容量化が難しく、材料・プロセスともに高価
FeRAM	・分極(分子中の電荷の偏り)によるメモリ ・電圧・電流書き換え(読み出すとデータが壊れるため、同時に書き込みが必要)	読み出しと書き込みの電圧が同じであるため、クロスポイント構造に適用できず、多層化が困難	大容量化が難しく、高価
NRAM	・カーボンナノチューブ(CNT)の近接による抵抗変化によるメモリ ・電圧で書き換え	CNTは安定で追加プロセスにも強く、複数層にわたるクロスポイント構造の形成は可能	簡易な製造プロセスにより低コスト化可能

②-4. 光に適合したチップ等の高性能化・省エネ化：広帯域SSD開発

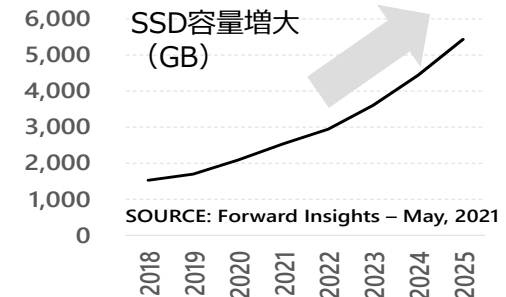
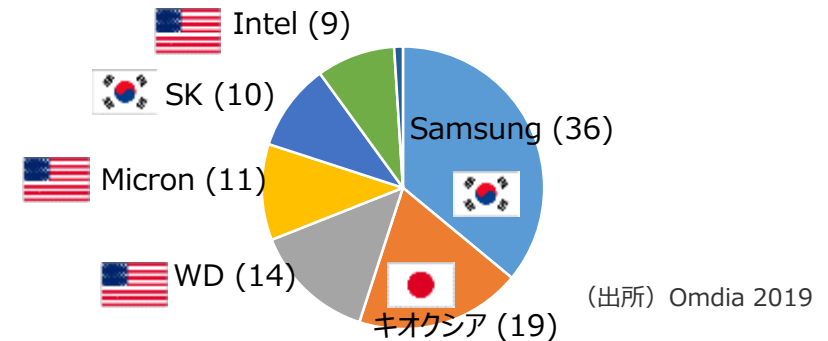
- SSD（NANDフラッシュメモリ）市場は、大容量化、低コスト化の投資競争。
 - データが増大すれば、それを活用するプロセッサからのアクセス（通信量）が増えるため、インターフェースの高速化が課題。2025～2030年にかけて、発熱のため電気配線では帯域向上が難しくなると予測されている。
- ⇒ 世界に先駆けて、光インターフェースを搭載することで、発熱を抑制した並列化が可能になり、広帯域化（128GB/s）と20%の消費電力削減*を同時に実現する。

*ディスクアグリゲーション技術に貢献することによる削減

開発のターゲット



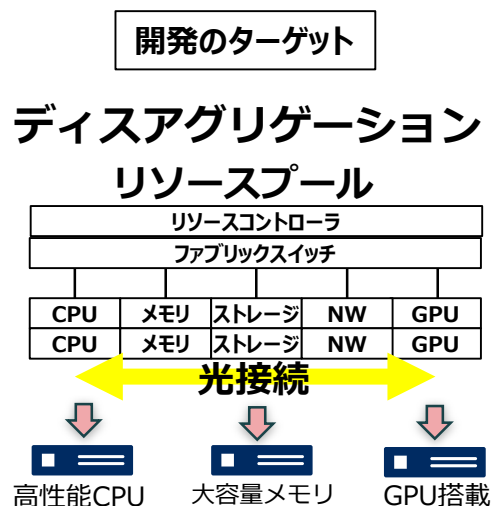
NANDメモリ市場動向



③ ディスアグリゲーション技術開発

- データセンターは、数多くのサーバから構成されており、複数のサーバを統合して計算資源を管理する「仮想化技術」は、既に実用化されているが、依然として、デバイス単位では、未使用状態になる時間が多く、多分に効率化の余地が存在。
 - 負荷に応じて機能（デバイス）ごとに柔軟に計算リソースを割り当てるディスアグリゲーション技術により、効率的な計算システムを実現できるが、伝送容量と距離の制限により、実用化には至っていない。光配線により伝送遅延がなくなることから、より柔軟な制御が可能に。
- ⇒ 割り当て制御ソフト（AI）を開発し、①や②で開発した要素デバイスを光接続したシステム実証を実施することにより、システム全体で20%の省エネ化を実現する*。

*適切に選択したワークロードを演算処理し、その性能・電力を評価し、本制御システムがない場合と比較。



膨大な組み合わせからデバイス活用の
最適解を導き出す制御ソフト（AI）を開発

ディスアグリゲーション技術の動向

- ・アプリケーションの最適配置では、Google発の「Kubernetes」が普及
(世界市場 2018年 12億USD → 2023年 49億USD *MarketsandMarkets)
- ・アプリケーションに応じたハードウェア・デバイスの最適配置は依然として研究段階（大阪大学等）

次世代グリーンデータセンター開発によるアウトカム

- データセンターの40%以上の省エネ化によって、1,760万t- CO₂ /年@2030年、1億800万t- CO₂ /年@2050年（世界）のCO₂削減効果が期待される。
- 本プロジェクトの成果によって、14兆円/年@2030年、78兆円/年@2050年（世界）の経済波及効果が期待される。
- データセンターを用いて提供されるクラウドサービスの市場や、それによるDXの省エネ効果も期待されるため、上記数字以上のアウトカムが期待される。

- ◆ 1,760万t-CO₂/年@2030年
- ◆ 1億800万t-CO₂/年@2050年



パラメータ	数値
データセンター消費電力*	2,520億kWh@2030年 6,120億kWh@2050年
CO2排出係数	0.441kg-CO ₂ /kWh
省エネ化	40 %
成果普及率	40 %@2030年 100%@2050年

* 国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書 情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響（Vol.2）ーデータセンター消費エネルギーの現状と将来予測および技術的課題ー 令和3年2月および IEA Global data centre energy demand by data centre type, 2010-2022を元に経産省作成

- ◆ 14兆円/年@2030年
- ◆ 78兆円/年@2050年

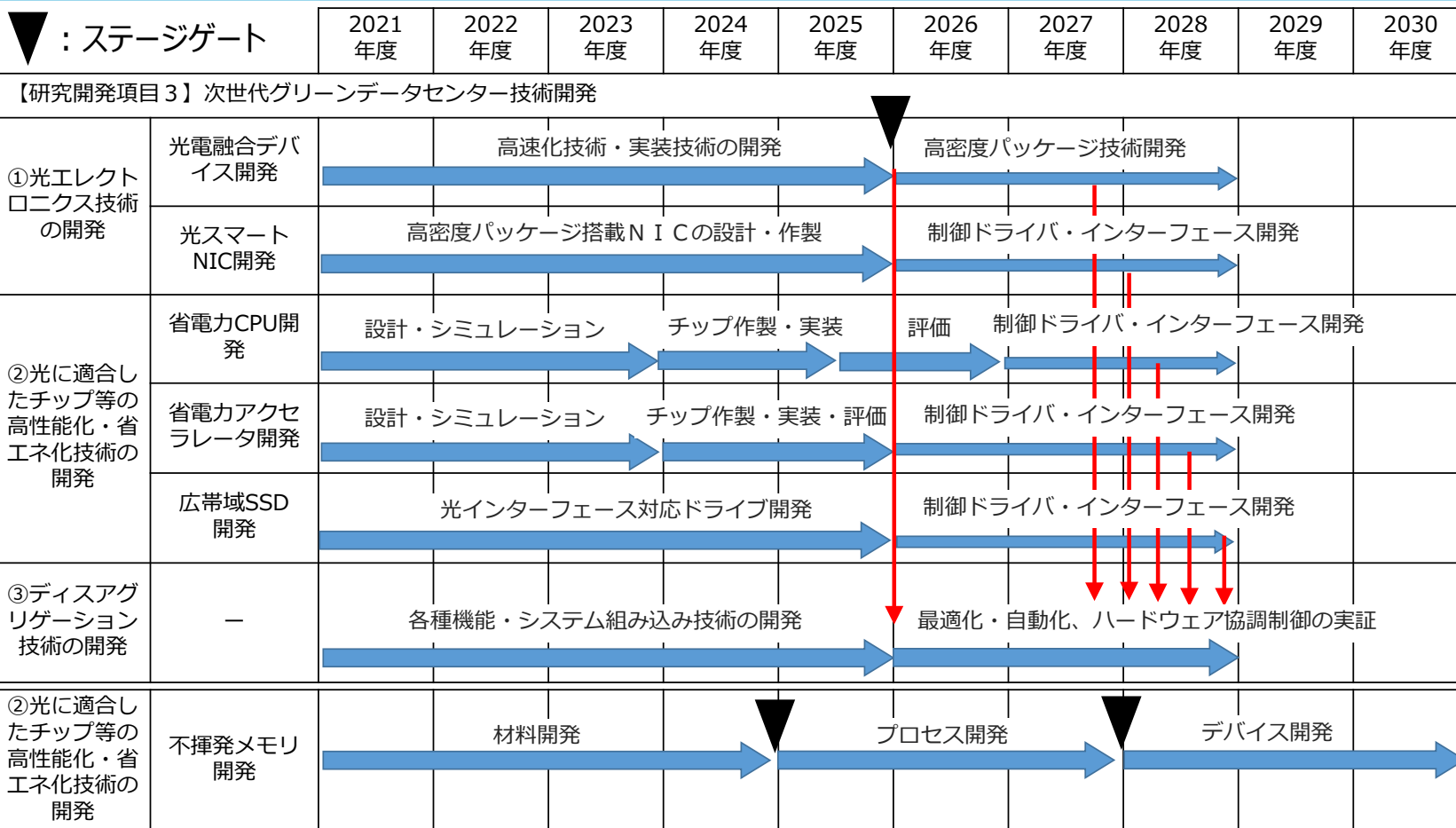


パラメータ	数値
データセンターシステム市場規模（投資額）*	36兆円@2030年 78兆円@2050年
成果普及率	40 %@2030年 100%@2050年

*Gartner, Inc., Forecast: Enterprise IT Spending by Vertical Industry Market, Worldwide, 2019-2025, 1Q21 Update, Inna Agamirzian, et al., 25 March 2021, End-User Spending basis. CAGRは経済産業省による算出。

実施スケジュール（次世代グリーンデータセンター）

- 国際競争において劣後しないタイミングにおいて、データセンターの省エネ化40%以上の達成を実現するべく、2021年度から2030年度までの最大10年間の実施を想定。
- 各要素デバイスのそれぞれが目標の達成を目指して開発を進める一方で、不揮発メモリ開発以外については、各デバイスを統合したデータセンター全体での実証による省エネ目標の達成を目指すため、相互連携を促しつつ、プロジェクト全体の進捗を管理する。



社会実装に向けた取組

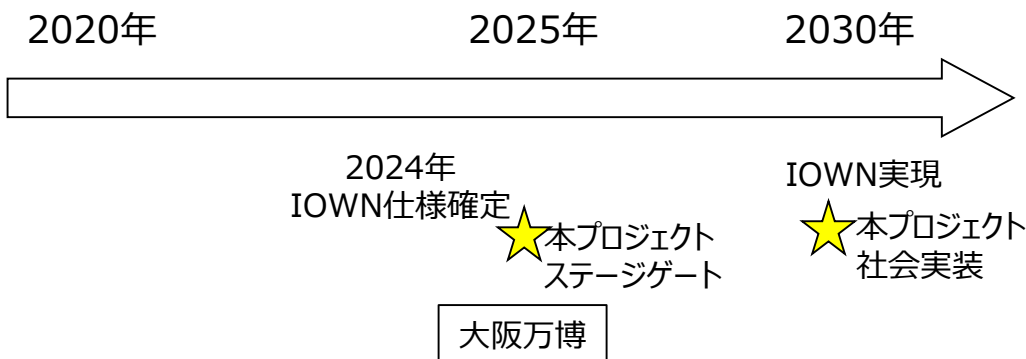
- IOWN Global Forumや、Open Compute Project (OCP)の議論を参照しつつ、2025年頃の試作機（大阪万博関連展示も検討）の開発成果を積極的に提案。
- 実施者は、成果物を世界市場で事業化するために、海外市場を中心にビジネス展開を担当する国際ビジネス化戦略担当を任命し、当該担当者はNEDOに対して、その活動内容および最新の市場動向およびビジネス戦略を報告する。海外プレーヤーとの戦略的な連携を推奨。



NTT, Intel, Sony, Ciena, Cisco,
HPE, Dell, Microsoft, Fujitsu,
NEC, Toyota ほか52社



Facebook, Google, HPE, IBM,
Intel, Microsoft, NVIDIA, AT&T
Fujitsu, ほか195社



「ハードウェアを再定義し、より効率的、柔軟、スケーラブルにするため、これまでのブラックボックスなITインフラをオープン化し、多様な選択肢、カスタマイズ、低コスト化を実現する。」

2011年設立 (Facebook, Rackspace, Intel)
OCP Global Summit, Nov. 2021, Regional Summit, Apr. 2022, etc.

(2) 次世代グリーンデータセンター

直接コントロールできる部分			経済・社会等の変化 (誰が／何が、どう変化することを目指しているか)		
(インプット)	(アクティビティ)	(アウトプット)	(短期アウトカム)	(中長期アウトカム)	(インパクト)
予算 [2021－ 2030年]	① 光エレクトロニクス技術開発 ② 光に適合したチップ等の高性能化・省エネ化 ③ ディスアグリゲーション技術開発	データセンタ全体の40%以上の省エネ化を実現 [測定指標] データセンタの消費電力内訳を調査し、省エネ効果を算出 [2030年見込] 上記数値目標達成	2030年CO₂削減効果 [測定指標] CO ₂ 削減量試算値 [2030年見込] 1,760万トン 2030年経済波及効果 [測定指標] 次世代データセンターの世界市場規模推算値 [2030年見込] 14兆円	2050年CO₂削減効果 [測定指標] CO ₂ 削減量試算値 [2050年見込] 1億800万トン 2050年経済波及効果 [測定指標] 次世代データセンターの世界市場規模推算値 [2050年見込] 78兆円	2050年カーボンニュートラル達成 経済効果 190兆円

アウトプットの達成が、アウトカムの発現につながることを示すエビデンス

データセンターの消費電力の保守的な推計値（IEAのデータからの推計）から、252TWh(2030)、612TWh(2050)に対して、省エネ化40%、普及率40%(2030)100%(2050)およびCO₂排出係数0.441kg-CO₂/kWhをかけて算出。

データセンターシステムの投資額は、2019年に世界214,902百万米ドルであり、2025年には世界271,579百万米ドル（CAGR4%）と推計されている。CAGR4%のまま成長すると仮定すると、2030年に約14兆円（普及率40%）、2050年には約78兆円（普及率100%）と推定される。