

# 次世代 AI を支える 革命的技術

IOWN と量子コンピュータ

AI-CHI-KEN

## はじめに

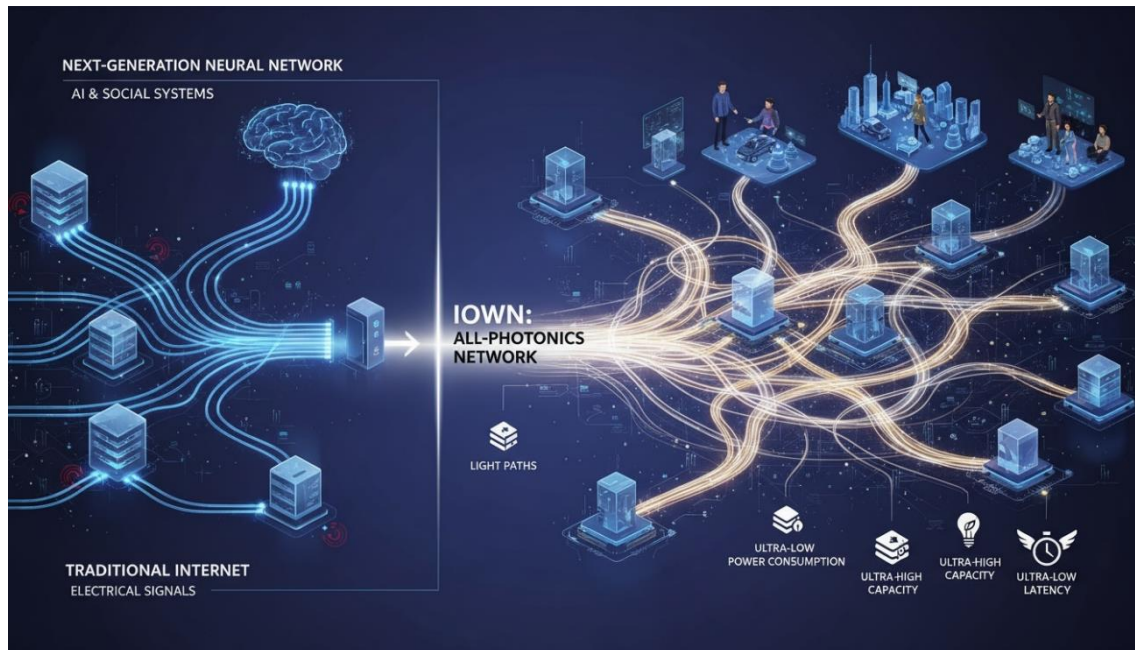
私たちの未来、特に AI の進化に深く関わる二つの最先端技術、IOWN と量子コンピュータの関係性についてお話します。一見すると別々の技術に見えるこの二つが、実は互いを必要とし、連携することで、今の AI の限界を突破する可能性を秘めています。

---

## 内容

はじめに .....	1
第 1 部：IOWN とは何か？ - "光"の超高速インターネット .....	2
第 2 部：量子コンピュータとは何か？ - 新しい計算原理のエンジン .....	4
第 3 部：IOWN と量子コンピュータ、運命の出会い .....	9
第 4 部：この二つの技術が拓く AI の未来 .....	12
まとめ .....	15

## 第 1 部: IOWN とは何か？ - “光”の超高速インターネット



まず、IOWN(アイオン)から解説します。IOWN は “Innovative Optical and Wireless Network” の略で、NTT が提唱する次世代のコミュニケーション基盤構想です。

### 1.1 なぜ新しいネットワークが必要なのか？

皆さんが日常的に使っているインターネットやクラウドサービスは、爆発的に増え続けるデータ量によって、いくつかの課題に直面しています。

- **電力消費の増大:** データセンターは大量の電力を消費し、その発熱を冷却するためにもさらに電力が必要です。
- **通信の遅延:** データを電気信号に変換するプロセスがボトルネックとなり、わずかな遅延が積み重なっています。自動運転や遠隔手術など、リアルタイム性が求められる分野ではこれが致命的になります。

現在のインターネットが「電気の道」だとすれば、IOWN はこれを「光の道」に置き換える革命的なアプローチです。

## 1.2 IOWN の核心技術:「オールフォトニクス・ネットワーク」

IOWN の心臓部は**\*\*オールフォトニクス・ネットワーク (APN)\*\***です。これは、ネットワークの末端から末端まで、可能な限りデータを光の信号のまま伝送する技術です。

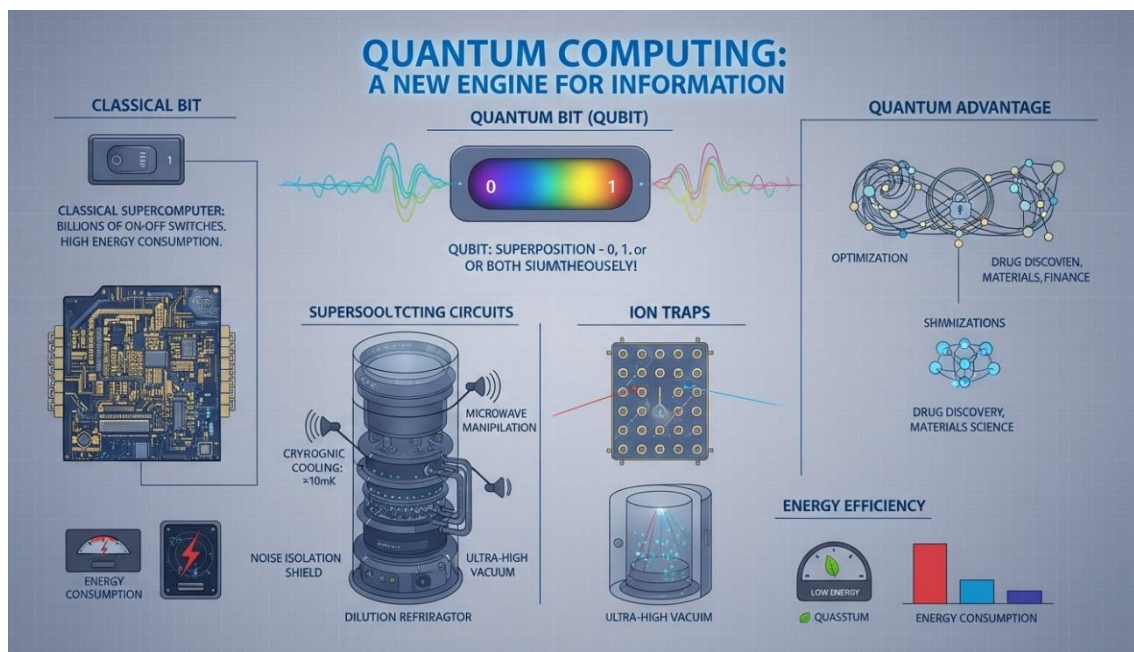
電気信号への変換を最小限にすることで、IOWN は以下の 3 つの大きな価値を実現します。

1. **超低消費電力**: 電力効率を現在の 100 倍にすることを目指します。
2. **超大容量**: 伝送容量を現在の 125 倍にすることを目指します。
3. **超低遅延**: 遅延を現在の 200 分の 1 にすることを目指します。

簡単に言えば、IOWN は**\*\*「地球に優しく、桁違いに速くて大容量な次世代の神経網」\*\***だと考えてください。この神経網が、次世代の AI や社会システムを支えるインフラとなります。

---

## 第 2 部: 量子コンピュータとは何か？ - 新しい計算原理のエンジン



次に、量子コンピュータです。これは単に「高速なコンピュータ」を指す言葉ではありません。計算の原理そのものが根本的に異なる、新しい種類の計算機です。その核心を、3つのステップで解き明かしていきましょう。

### 2.1【基本原理】状態の表現方法の決定的違い

まず、現在私たちが使っているコンピュータ(古典コンピュータ)の最小単位はビットです。これは、CPUなどに内蔵されるトランジスタという半導体スイッチに、一定以上の電圧がかかっている状態を「1」、かかっていない状態を「0」として定義しています。重要なのは、どの瞬間においても必ず「0」か「1」のどちらか一方の状態に確定している点です。

一方、量子コンピュータの最小単位は量子ビット(qubit)です。量子ビットは、量子力学の「重ね合わせ」という原理を利用することで、「0」の状態と「1」の状態を同時に保持できます。

これは、ON/OFFしかない照明スイッチ(ビット)に対して、明るさを0%から100%まで連続的に調整できる\*\*調光スイッチ(量子ビット)\*\*に例えられます。調光スイッチが

50%の位置にあるとき、それは OFF でも ON でもなく、両方の可能性を内に含んだ中間状態にあります。

この「重ね合わせ」の特性により、計算空間が指数関数的に増大します。量子ビットが  $N$  個あれば、**2 の  $N$  乗個の状態を一つの量子ビット群で同時に表現し、並列的に処理**できるのです。各量子ビットが計算空間の次元を一つ増やすと捉えることができ、これが量子コンピュータの圧倒的な並列性の源泉です。



## 2.2【物理的な仕組み】量子ビットの実体と操作方法

では、この特殊な状態を作り出す量子ビットは、一体何でできていて、どうやって操作するのでしょうか。現在、主に 2 つの方式があります。

方式	超伝導方式 (Google, IBM など)	イオントラップ方式 (IonQ など)
技術	絶対零度まで冷却した超伝導回路。回路を流れる電流の向きなどを「0」「1」のエネルギー状態に対応させる。	電磁場で真空中に固定した原子一つ（イオン）。原子内の電子のエネルギー準位を「0」「1」の状態に対応させる。
操作	精密に調整されたマイクロ波パルス	精密に狙いを定めたレーザー光
図解	<p>量子科学研究のための希釈冷凍機。(a)～(d)は低温科学研究センターが開発中の新技術。</p> <p>低温科学研究センター</p> <p>量子コンピューター・量子科学研究のための低温新技術の開発</p> <p>新型マイクロ波同軸ケーブル減衰器</p> <p>高性能熱伝導リンク</p> <p>長寿命コールドトラップ</p> <p>連続型核断熱消磁冷凍機 (T = 0.9 mK)</p> <p>吸着式ヘリウム圧縮機</p> <p>Q CRC Cryogenic Research Center</p>	<p>真空チャンバー</p> <p>イオントラップ</p> <p>レーザー光</p> <p>真空ポンプ</p> <p>冷却用レーザー1 (固体レーザー)</p> <p>冷却用レーザー2 (半導体レーザー)</p> <p>補助レーザー (半導体レーザー)</p> <p>光子計数装置</p> <p>駆動電源</p>

このように、量子コンピュータは、量子力学という自然法則をエンジニアリングに応用し、マイクロ波やレーザーといった外部からのエネルギーによって物質の状態を精密に制御することで、古典コンピュータには不可能な計算能力を実現します。

## 2.3【工学的な側面】規模とエネルギー効率

量子コンピュータの巨大な外観から、その規模や消費電力について誤解が生じがちですが、実態は異なります。

### Q1. 複数の状態を持つなら、装置は大きくなるのでは？

A1. いいえ、量子ビット自体は極小です。

「0」と「1」の重ね合わせ状態は、一つの物理素子(超伝導回路や原子)が持つエネルギー的な特性です。状態の数が増えるからといって、素子の物理的なサイズが大きくなるわけではありません。装置が巨大になる主な理由は、量子ビットの周辺環境を維持するための設備にあります。

- **極低温環境の維持:** 超伝導方式では、量子状態を安定させるために絶対零度に近い極低温環境が必須です。そのための巨大な冷却装置(希釈冷凍機)が筐体の大部分を占めます。
- **ノイズからの隔離:** 量子状態は非常にデリケートであり、外部の電磁波や振動など、わずかなノイズからも保護するための厳重なシールドが必要です。

この巨大な装置のほとんどは、量子ビットを安定稼働させるための環境維持設備です。

### Q2. 既存のコンピュータより電力消費が大きいのでは？

A2. いいえ、むしろ桁違いに小さいです。

世界トップクラスのスーパーコンピュータが一つの町に匹敵する電力(数万 kW)を消費するのに対し、現在の量子コンピュータは数 kW から数十 kW、つまり家庭用エアコン数台分程度です。

- **スーパーコンピュータ:** 数百万のプロセッサを稼働させ、さらにそれらを冷却するために莫大な電力を消費します。
- **量子コンピュータ:** 消費電力の大部分は、超伝導方式における「冷却」です。計算そのものに使われるエネルギーはごくわずかです。冷却が不要なイオントラップ方式はさらに省エネルギーです。



最も重要な指標は、\*\*「特定の問題を解くための総エネルギー量」\*\*です。スーパーコンピュータが数ヶ月要する計算を、量子コンピュータが数時間で完了できるなら、最終的なエネルギー効率に量子コンピュータが圧倒的に優れていると期待されています。

## 2.4 量子コンピュータの得意領域

量子コンピュータは万能ではありません。その特性が活かされるのは、古典コンピュータでは現実的な時間で解くことが困難な、特定の種類の問題です。

- **最適化問題:** 膨大な数の組み合わせの中から最良の解を見つけ出す問題。例として、物流における配送ルート最適化、金融におけるポートフォリオ最適化などが挙げられます。
  - **化学・材料シミュレーション:** 分子や原子の挙動を量子レベルで正確にシミュレートする問題。これにより、新薬の開発や高機能な新素材の設計が加速すると期待されます。
  - **素因数分解:** 大きな数字の素因数分解を高速に実行できるため、現在の主流である RSA 暗号を解読する能力を持ちます。このため、量子コンピュータ時代に対応した新しい暗号（耐量子計算機暗号）の研究開発も同時に進められています。
-

## 第 3 部: IOWN と量子コンピュータ、運命の出会い



第 1 部では「光」を基盤とする IOWN、第 2 部では「量子」を基盤とする量子コンピュータについて、それぞれ解説しました。ここからは、これら二つの最先端技術が、なぜお互いを必要とするのか、その運命的な関係性について掘り下げていきます。

### 3.1 はじめに: 光技術と量子コンピュータは同じではない

本題に入る前に、両者の関係性を理解するための重要な前提を共有します。それは、\*\*「光回路技術 ≠ 量子コンピュータ」\*\*であるということです。この二つは目的が異なる技術ですが、互いに深く関連しています。

- 光回路技術(フォトンクス技術)とは: 電子の代わりに光(光子)を使って、情報を高速・低消費電力で「伝送・処理」するための汎用的な技術基盤です。IOWN のオールフォトンクス・ネットワークが、その最先端の応用例です。
- 量子コンピュータとは: 量子力学の原理(重ね合わせなど)を使い、特定の複雑な問題を「計算・解決」するための専門的な計算機です。

この関係は\*\*「エンジン技術」と「F1 カー」\*\*に例えることができます。エンジン技術は自動車から飛行機まで幅広く使われる汎用技術ですが、F1 カーはその技術を応用して「レースで勝つ」という特定目的のために作られた特殊なマシンです。同様に、光回路技術は汎用的な基盤技術であり、量子コンピュータはその応用先の一つとなりうる専門的な計算機なのです。

この違いを念頭に、両者が具体的にどう連携するのかを見ていきましょう。

---

### 3.2 側面①: 量子が生み出す「データ津波」の受け皿として

量子コンピュータが実用化されると、特に化学シミュレーションや AI の分野で、これまでとは比較にならないほど膨大で複雑なデータが生成されます。

この「データ津波」を、現在の電気ベースのネットワークで処理しようとすると、深刻なボトルネックが生じます。量子コンピュータがどれだけ高速に計算を終えても、その結果を研究機関や企業に送るのに何時間もかかっているのは、その価値は半減してしまいます。

ここで IOWN の出番です。その**超大容量・超低遅延**という特性は、量子コンピュータが生み出す膨大なデータを遅延なく、スムーズに伝送するための完璧な受け皿となります。

**量子コンピュータ（計算） → IOWN（伝送） → AI・研究開発（活用）**

この重要なデータフローを滞りなく実現するために、IOWN は不可欠なインフラなのです。

---

### 3.3 側面②: 量子コンピュータ同士を「繋ぐ」神経網として

一つの量子コンピュータの性能には限界があります。より複雑な問題を解くためには、複数の量子コンピュータを連携させる「**分散量子コンピューティング**」という考え方が重要になります。

しかし、量子ビットの状態は非常にデリケートで、わずかなノイズや遅延で壊れてしまいます(デコヒーレンス)。そのため、量子コンピュータ同士を繋ぐネットワークには、ほぼゼロに近い遅延と、信号の劣化がないことが絶対条件です。

IOWN のオールフォトニクス・ネットワークは、まさにこの要求に応えることができます。光のまま情報を伝えることで遅延と信号の劣化を極限まで抑え、繊細な量子状態を保ったまま、量子コンピュータ間での通信を可能にします。IOWN は、個々の量子コンピュータを一つの巨大な頭脳として統合するための、究極の神経網として機能します。

---

### 3.4 側面③:「量子暗号」を社会実装する盾として

量子コンピュータは、現在のインターネットで使われている暗号(RSA 暗号など)を簡単に解読してしまう脅威を持っています。そこで、盗聴が原理的に不可能な新しい暗号技術「量子暗号通信(量子鍵配送、QKD)」が開発されています。

この量子暗号は、光子(光の粒)一つ一つに情報を乗せて送受信します。そのため、その伝送路には、光の信号を純粋な形で通すことができる光ファイバーネットワークが最適です。

IOWN のオールフォトニクス・ネットワークは、この量子暗号を社会インフラとして実装するための理想的な基盤となります。量子コンピュータ時代に AI が扱う機密情報や個人のプライバシーを守るためには、IOWN 上に構築された量子暗号通信が必須の盾となるのです。

---

## 第 4 部:この二つの技術が拓く AI の未来



ここまで、IOWN という究極の神経網と、量子コンピュータという革新的な計算エンジンについて解説してきました。では、この二つの技術の融合は、AI の進化に具体的にどのようなパラダイムシフトをもたらすのでしょうか。ここでは 3 つの未来像をご紹介します。

### 4.1 次世代 AI モデルの開発加速

現在の AI、特に創薬や新素材開発の分野では、分子構造のシミュレーションが非常に重要ですが、その計算量は膨大で、スーパーコンピュータでも限界があります。

量子コンピュータは、このような分子レベルの挙動を正確にシミュレートする能力に長けています。量子コンピュータが新薬の候補となる化合物の特性を瞬時に計算し、その膨大かつ複雑なシミュレーションデータを、IOWN の超大容量・低遅延ネットワークが遅延なく AI 研究者の元へ転送します。これにより、これまで数年かかっていた開発プロセスが数週間に短縮される可能性があります。

- **量子コンピュータの役割:** 従来不可能だった規模の分子シミュレーションを実行。
- **IOWN の役割:** シミュレーションから得られる膨大なデータを瞬時に伝送。
- **結果:** 創薬 AI や材料開発(マテリアルズ・インフォマティクス)AI の飛躍的な進化。

## 4.2 社会インフラとしての「連合学習」の実現

個人のプライバシーや企業の機密情報を守りつつ、AI を賢くする技術として「**連合学習 (Federated Learning)**」が注目されています。これは、各地に分散したデータを移動させずに、AI モデルだけを各拠点に巡回させて学習させる手法です。

例えば、複数の病院が持つ電子カルテのデータを院外に出すことなく、より高精度な医療診断 AI を共同で開発する、といった応用が考えられます。しかし、これを大規模に実現するには、拠点間の通信に高いセキュリティとリアルタイム性が求められます。

ここで IOWN と量子暗号が活躍します。IOWN の広帯域・低遅延ネットワークが多数の拠点をスムーズに結び、量子暗号通信がその通信経路を盗聴不可能なレベルで保護します。これにより、医療、金融、工場など、高いセキュリティが求められる分野での AI 活用が一気に加速します。

- **量子コンピュータの役割:** (間接的に)量子暗号を破る脅威となり、新暗号の必要性を生む。
- **IOWN の役割:** 連合学習のための広帯域・低遅延ネットワークと、量子暗号通信の基盤を提供。
- **結果:** セキュリティを担保した、社会規模での分散型 AI 学習の実現。

## 4.3 現実世界を最適化する「デジタルツイン」の高度化

**デジタルツイン**とは、現実世界の都市、工場、交通網といった物理的なシステムを、そっくりそのままサイバー空間上に再現する技術です。現実世界から送られてくる膨大なセンサーデータをリアルタイムで反映し、未来予測や最適化シミュレーションを行います。

この構想の実現には、二つの大きな壁がありました。一つは、現実世界の無数のセンサーから発生するデータを遅延なく収集するネットワーク。もう一つは、サイバー空間上で複雑な未来予測を行うための計算能力です。

IOWN が前者の壁を、量子コンピュータが後者の壁を打ち破ります。

IOWN が都市の隅々から人流、交通量、エネルギー消費量といったデータを瞬時に収集し、サイバー空間上のデジタルツインを更新。量子コンピュータがそのデータに基づき、「もし豪雨が降ったら、どの地域の交通をどう制御すれば渋滞と被害を最小化できるか」といった複雑な最適化問題を瞬時に解きます。その結果を元に、AI が現実世界の信号機や公共交通システムに指示を出す、といったことが可能になるのです。

- **量子コンピュータの役割:** デジタルツイン上での、複雑な未来予測・最適化シミュレーションを担当。
  - **IOWN の役割:** 現実世界とデジタルツインを繋ぐ、超低遅延・大容量の神経網として機能。
  - **結果:** AI による、社会システム全体のリアルタイム最適化の実現。
-

## まとめ

最後に整理します。

- IOWN は、情報を「光」のまま扱うことで\*\*「超低消費電力・超大容量・超低遅延」\*\*を実現する、次世代のコミュニケーション基盤です。
- 量子コンピュータは、「量子力学」の原理を利用して、特定の複雑な問題を解くための、全く新しい原理の計算機です。
- 両者の関係は、単なる足し算ではありません。
  1. 受け皿として: IOWN が、量子コンピュータが生むデータ津波を遅延なく運びます。
  2. 神経網として: IOWN が、繊細な量子コンピュータ同士を繋ぎ、より強力な計算能力を実現します。
  3. 盾として: IOWN が、量子暗号を社会実装し、量子時代のセキュリティを確保します。

IOWN という究極の神経網と、量子コンピュータという革新的な頭脳。この二つの技術が揃うとき、AI は単なる情報処理ツールを超え、創薬から社会システムの最適化まで、これまで人類が解決できなかった領域の課題に挑むための、強力なパートナーへと進化を遂げるでしょう。