

平成27年11月12日

有識者会議

革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）

「量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ  
高度知識社会基盤の実現」  
進捗状況報告について

プログラム・マネージャー  
山本 喜久

# 量子人工脳・量子シミュレータの研究開発の出口目標



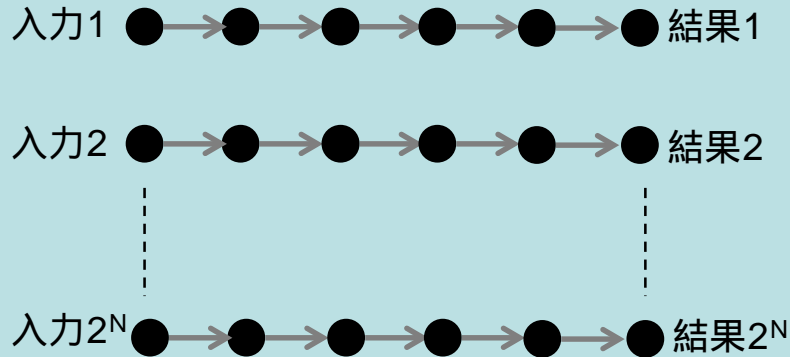
## 量子人工脳の実現

➡ 現代コンピュータ・暗号技術が不得意とする情報処理技術をカバーする 2

# 現代コンピュータの限界と量子コンピュータの必要性

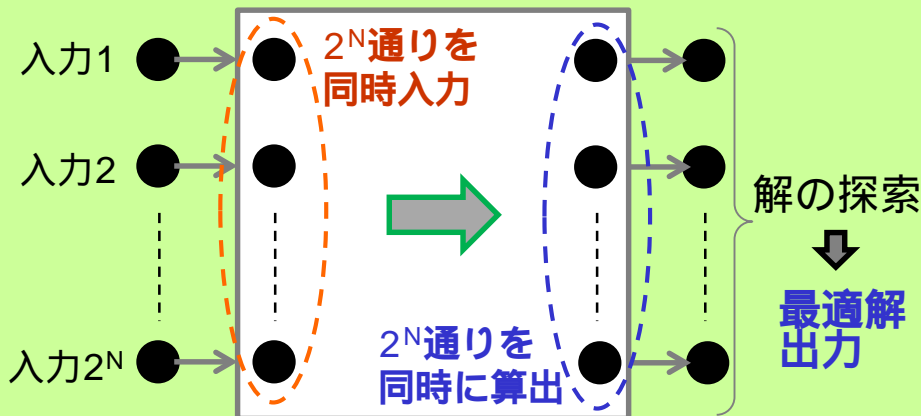
## 現代コンピュータ

計算ステップ



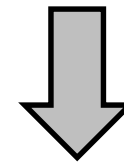
$2^N$ 通りの全ての入力値に対する総当り計算が必要である。

## 量子コンピュータ



$N$ 個の量子ビットは $2^N$ 通りの全ての入力値を同時に計算し、その後最適解を探索する。

## スーパーコンピュータ京



スーパーコンピュータを使っても追いつかない  
計算量爆発的増加

問題サイズ $N$	解の候補 $2^N$
10	1000通り
20	100万通り
30	10億通り
40	1兆通り
50	1000兆通り

量子コンピュータによる  
計算限界の打破

# 研究開発体制

**山本PM**  
PM補佐  
(佐藤、國寄)  
内閣府、JST

**計算機科学**  
NII(河原林)

**プログラムアドバイザー**  
プロジェクト内  
(甘利、伊澤、上村、川上)  
**産業界**  
(NTT, 東芝、日立製作所  
富士通研究所、日本電気、三菱電機)

**量子人工脳**

理論  
適用領域

NII(宇都宮)

アルゴリズム開発  
(脳型情報処理)

東大(合原)

ハードウェア開発

NTT(武居)  
阪大(井上)  
スタンフォード大(Fejer)  
アルネアラボラトリ(太田)

**量子セキュアネットワーク**

ネットワーク・  
アーキテクチャ

NICT(佐々木)

実装技術

NEC(中村)  
東芝(井上)  
東北大(中沢)  
学習院大(平野)

安全性理論

東大(小芦)  
北大(富田)  
東工大(松本)  
NTT(玉木)

量子光学・強相関  
量子

阪大(小川)  
東大(青木)

実装技術

理研  
(樽茶, 蔡, 中村, 福原)  
京大(高橋)  
ウルツブルグ大(Höfling)

量子情報

理研(Nori)  
東工大(西森)

**現代暗号**

三菱電機(松井)

**量子シミュレーション**

**強相関物性**

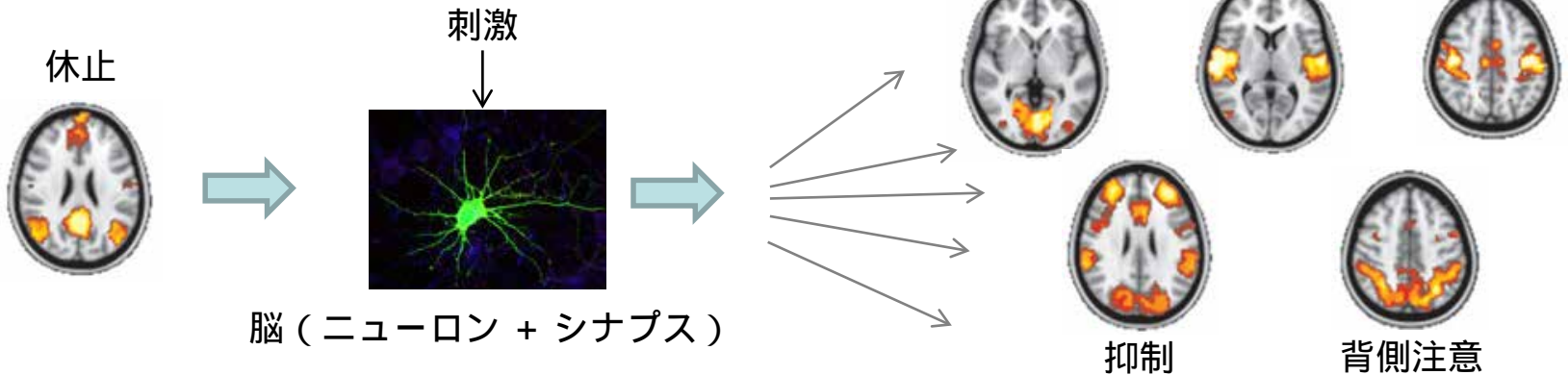
理研(永長)

# 量子人工脳 - 量子ニューロンによる臨界計算 -

## 臨界計算 (脳における情報処理)

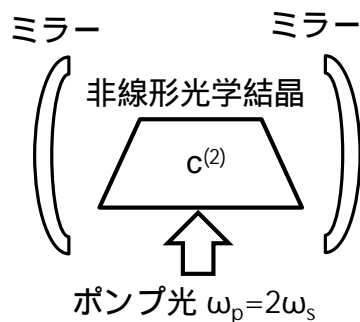
相転移臨界点

水が氷になったり、絶縁体が超伝導体になるなど、物質の性質が劇的に変化する温度を相転移臨界点という

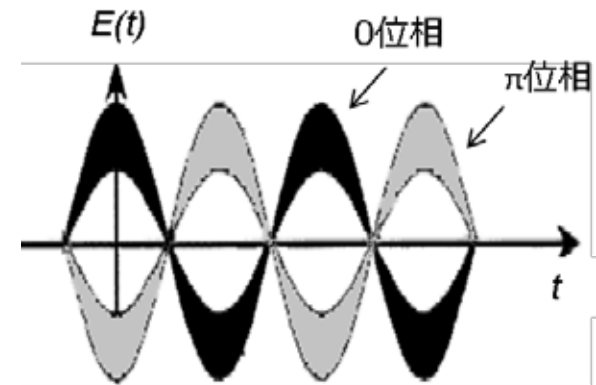


人間の脳は休止状態にある時、相転移臨界点にあり、外部からのわずかな刺激で自発的に秩序を形成し、複雑なタスクを短時間に処理する瞬発力を保有している

## 量子ニューロン



線形重ね合わせ  $|0\rangle + |\pi\rangle$

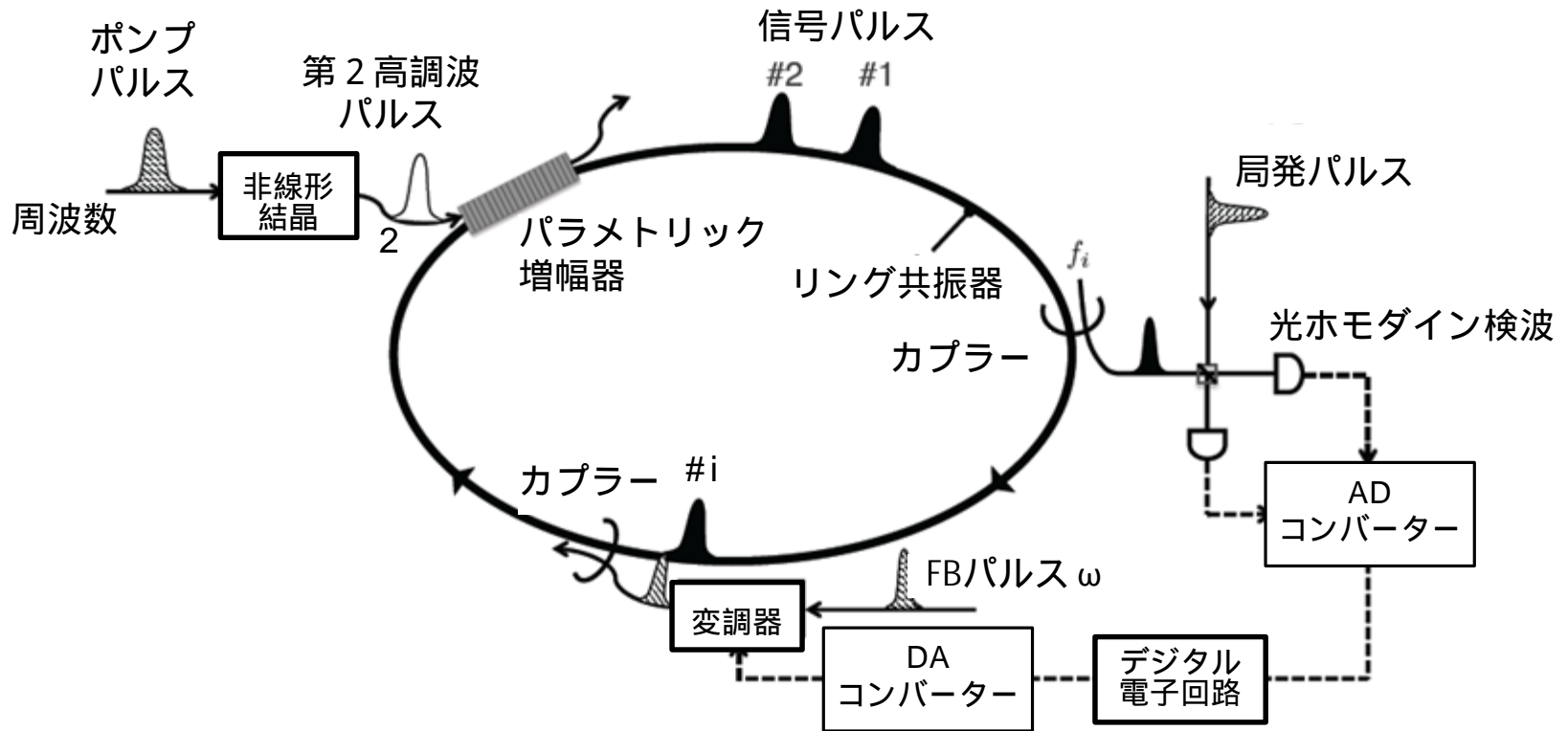


脳を構成するN個のニューロンは、一度にたった一つの状態しか取れないが、N個の量子ニューロンは、 $2^N$ 個の異なった状態を同時に表わすことができる

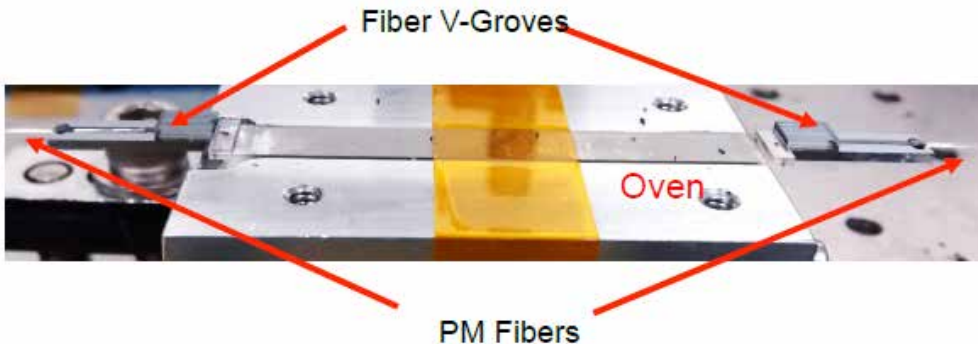
# 競合技術の開発状況

	量子アニーリング (D-WAVE/Google/ MIT)	CMOSアニーリング (日立)	量子人工脳 (ImPACT)
実装	超伝導量子スピン (10mK)	半導体CMOSスピン (室温)	光パルス量子ニューロン (室温)
動作原理	量子トンネリング	古典トンネリング	量子相転移
提案	東工大(1998)	日立(2013)	NII(2011)
問題サイズNを解く ためのシステムサイズ	$N^2$ のシステムサイズ ↓ システムが大規模になる	$N^2$ のシステムサイズ ↓ システムが大規模になる	$N^1$ のシステムサイズ ↓ 小規模システムでよい
システムサイズ (現状)	1024量子ビット ⇨33ビット	$2 \times 10^4$ CMOSスピン ⇨140ビット	16パルス ⇨16ビット(現状) ⇨10,000ビット (ImPACT終了時)

# 量子人工脳（コヒーレント・イジングマシン）の構成



パラメトリック増幅器（PPLN導波路）

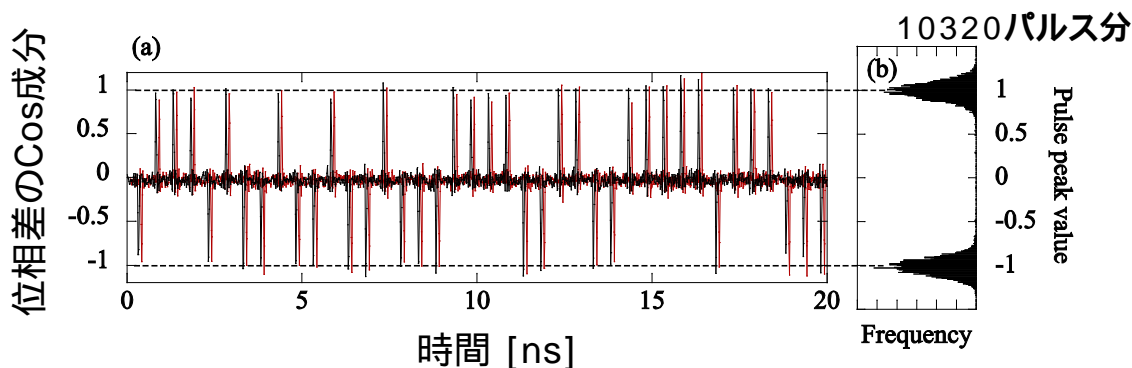


N個の量子ニューロン（光パルス）は量子ビットに相当し、一つの光ファイバリング共振器中を周回しながら、相転移臨界点を超える。  
 $N^2$ 個のシナプス結合は、一つの量子測定 フィードバック回路により実装される。

# 【進捗状況】コヒーレント・イジングマシンの実装

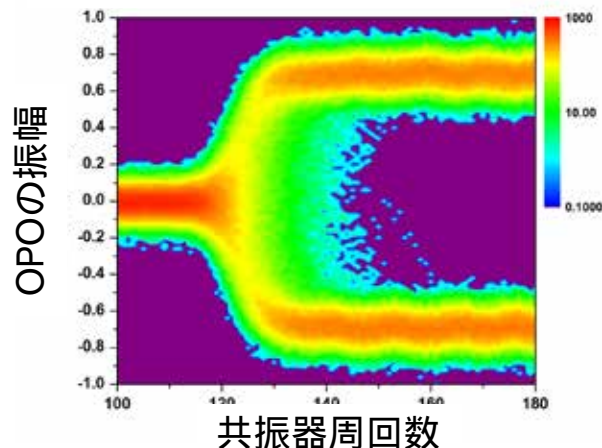
- 計算規模 $N=16$ ビット処理のNP困難問題の正答率  $>99.9\%$  を達成
- 1km光ファイバ共振器 + 10cmの光パルス間隔
  - ⇒ 10,000の光パルスを一括発生：10,000ビット処理に相当
  - ただし、電気処理を行うFPGAは、2000ビットまでしか制御不可

位相測定の結果



位相測定結果の  
ヒストグラム

OPO動的相転移の観測



		H27	H28	H29	H30
ハードウェア開発	光学系	10 <sup>4</sup> ビット(1km)達成		10 <sup>5</sup> ビット(10km)	
	電気系	2x10 <sup>3</sup> ビット(FPGA)達成		10 <sup>4</sup> ビット	
システム実装	光結合方式		10 <sup>4</sup> ビット(最近接結合)		10 <sup>5</sup> ビット(最近接結合)
	電気結合方式		2x10 <sup>3</sup> ビット(全結合)		10 <sup>4</sup> ビット(全結合)



# 今後の取り組み

1. 開発する量子人工脳と社会的課題をつなぐアルゴリズムの開発  
( 組合せ最適化、秘匿計算、未来予測 )
2. 通信ビットと計算ビットを総合的に守る量子セキュアネットワークの開発
3. 新材料設計に資する量子シミュレータ ( 光、超伝導、原子 ) の開発
4. 量子情報科学と脳情報科学を同時に使いこなせる人材の育成
  - 沖縄OIST研究会 ( 2015.9 ) : 国際スクール
  - 北海道ImPACT研究会 ( 2015.10 ) : 国内スクール