

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



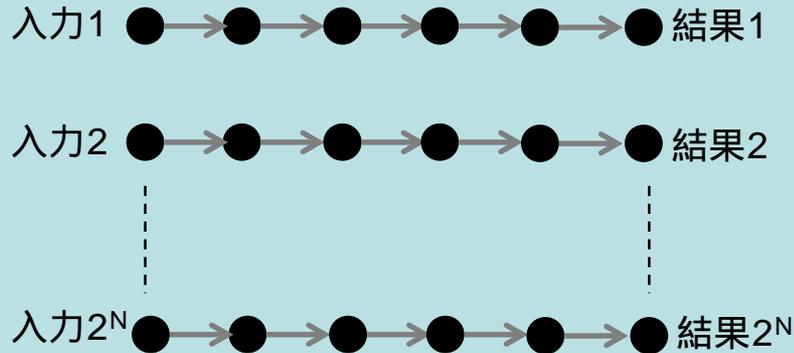
量子人工脳の実現

➡ 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

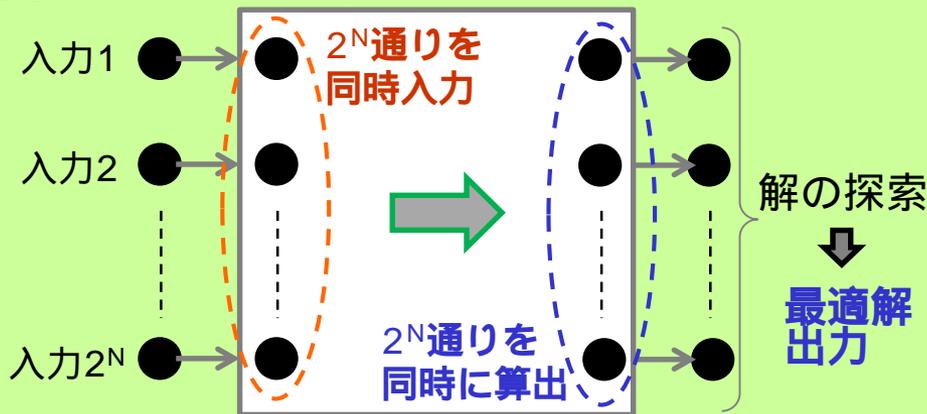
現代コンピュータ

計算ステップ



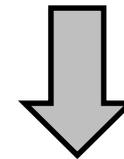
2^N 通りの全ての入力値に対する総当り計算が必要である。

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

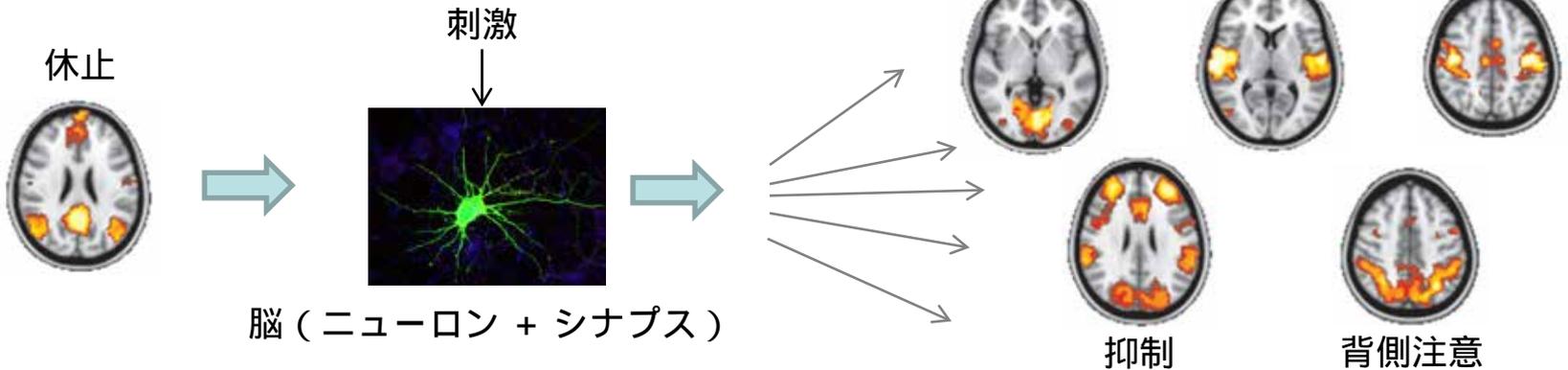
理研(永長)

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)

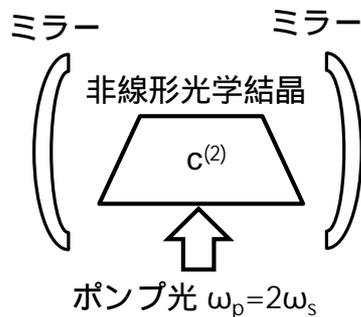
相転移臨界点

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

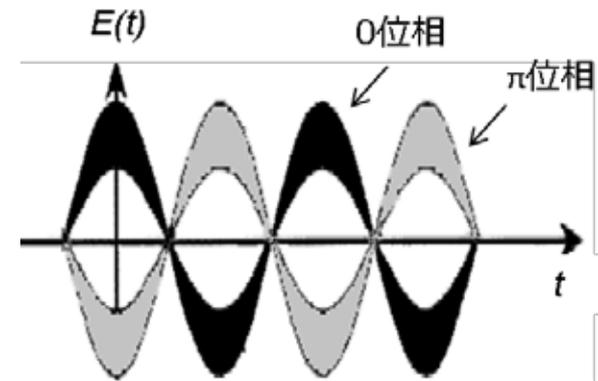


人間の脳は休止状態にある時、相転移臨界点にあり、外部からのわずかな刺激で自発的に秩序を形成し、複雑なタスクを短時間に処理する瞬発力を保有している

量子ニューロン



線形重ね合わせ $|0\rangle + |\pi\rangle$

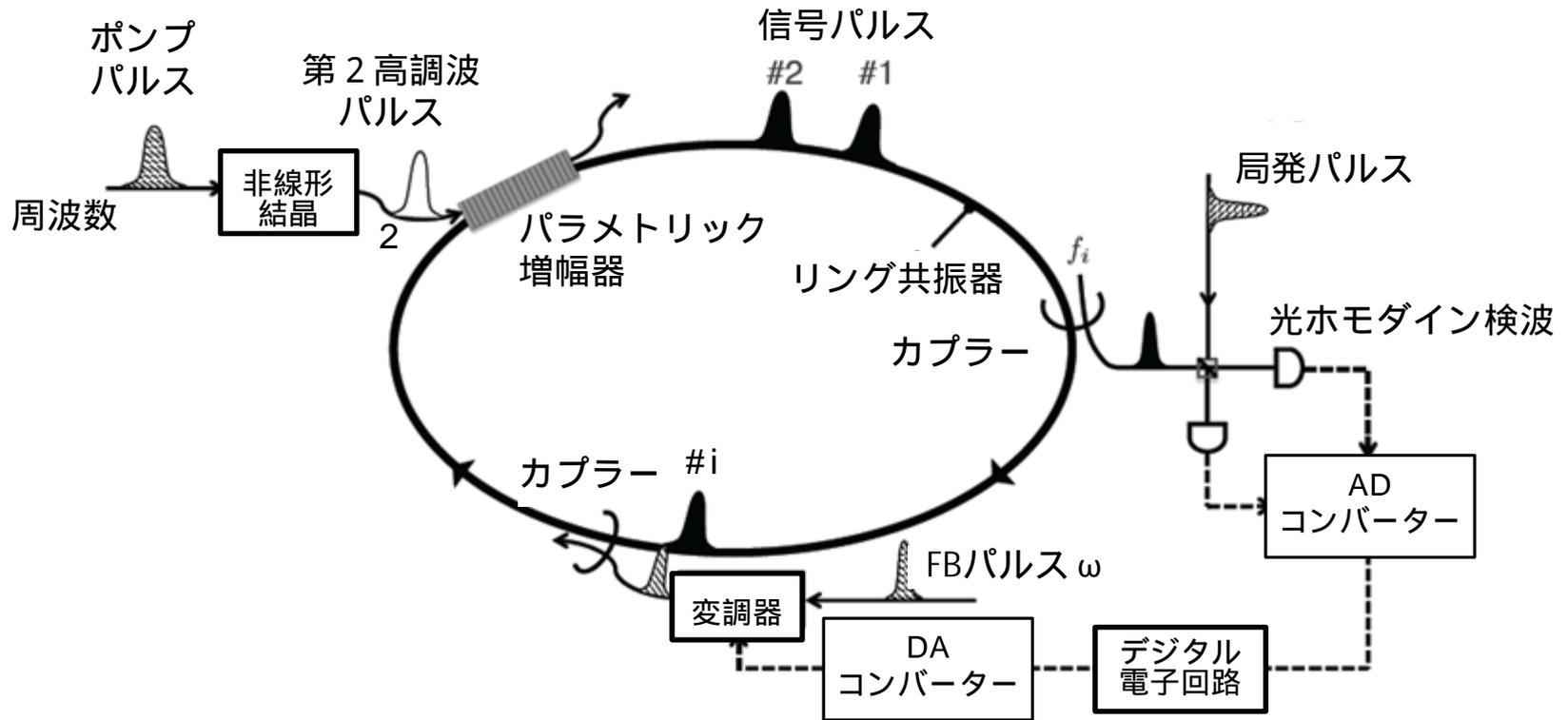


脳を構成するN個のニューロンは、一度にたった一つの状態しか取れないが、N個の量子ニューロンは、 2^N 個の異なった状態を同時に表わすことができる

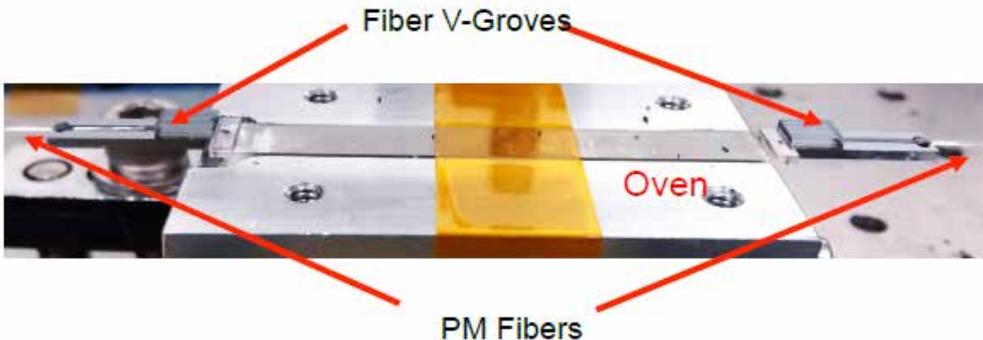
競合技術の開発状況

	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	2×10^4 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)

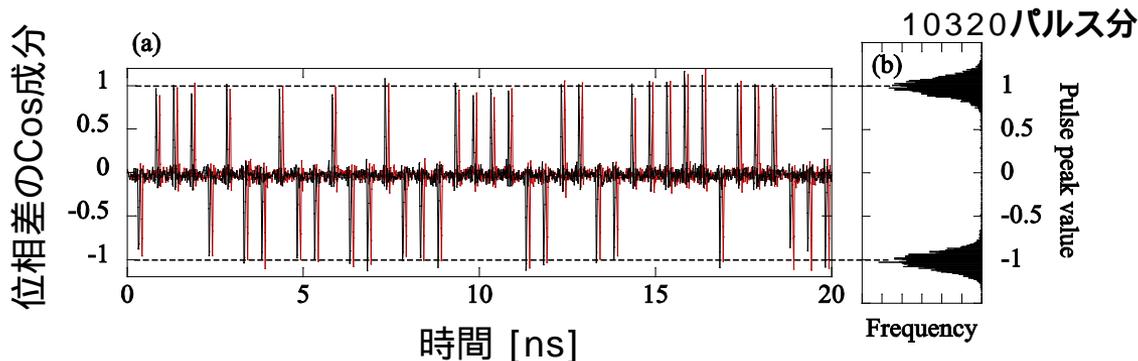


N個の量子ニューロン（光パルス）は量子ビットに相当し、一つの光ファイバーリング共振器中を周回しながら、相転移臨界点を超える。
 N^2 個のシナプス結合は、一つの量子測定 フィードバック回路により実装される。

【進捗状況】コヒーレント・イジングマシンの実装

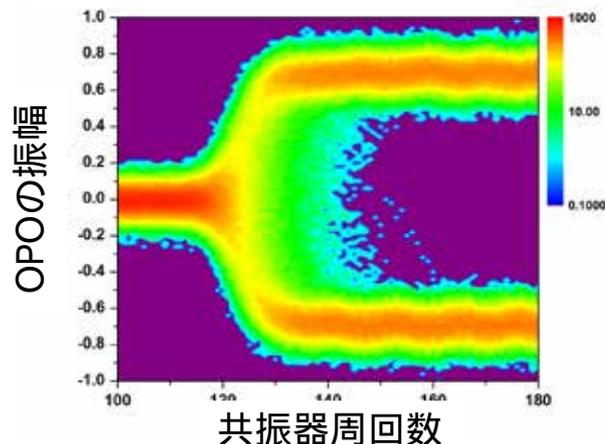
- 計算規模N=16ビット処理のNP困難問題の正答率 >99.9% を達成
- 1km光ファイバ共振器 + 10cmの光パルス間隔
 - ⇒ 10,000の光パルスを一括発生：10,000ビット処理に相当
 - ただし、電気処理を行うFPGAは、2000ビットまでしか制御不可

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 ⁴ ビット(1km)達成		10 ⁵ ビット(10km)	
	電気系	2x10 ³ ビット(FPGA)達成		10 ⁴ ビット	
システム実装	光結合方式		10 ⁴ ビット(最近接結合)		10 ⁵ ビット(最近接結合)
	電気結合方式		2x10 ³ ビット(全結合)		10 ⁴ 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