
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」
全体計画について

プログラム・マネージャー
山本 喜久

研究開発プログラム構想

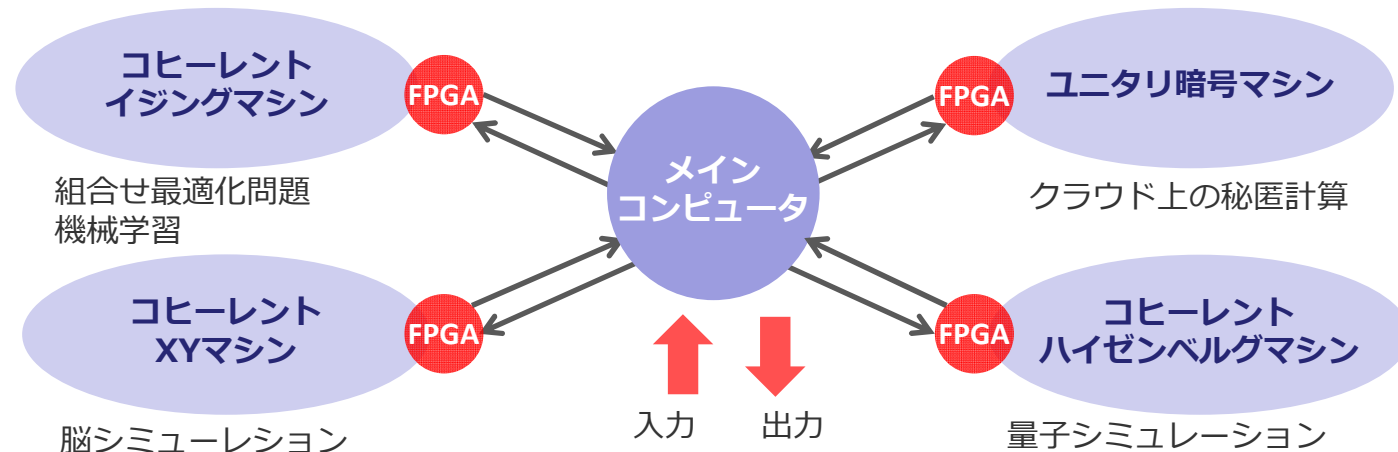
解決すべき課題等

- 現代社会の様々な分野（創薬、生命科学、通信ネットワーク、機械学習、電力・物流・交通ネットワーク、宇宙開発、ソーシャルネットワーク、など）に現われる組合せ最適化問題は計算量理論でいうNP完全・NP困難クラスに属しており、現代コンピュータでこれを効率よく解くことはできない。組合せ最適化問題に特化した量子コンピュータや量子アニーリングマシンが欧米を中心に研究開発されているが、実問題を解ける大規模なシステムを実現する目処は立っていない。
- 現代暗号は、将来盗聴される、あるいは既に盗聴されている危険性を内包しており、常に改訂や変更を繰り返す必要がある複雑なシステムとなっている。また、クラウドサービスの普及が進み、クラウド上に保存したデータや計算結果のセキュリティをどう担保するか、が重要な社会的課題となっている。
- 新物質探索はこれまで材料研究者の直感に頼る形で発展を遂げてきた。その理由の一つは、物質内の原子や電子の振る舞いを記述する量子力学モデルは、現代コンピュータでは効率よくシミュレーションできなかったからである。代わって、制御性のよい量子系を用いた模擬実験、いわゆる量子シミュレーションの研究が世界的に行なわれているが、計算精度、速度、普遍性に問題がある。

研究開発プログラム構想

PMの挑戦と実現したときのインパクト

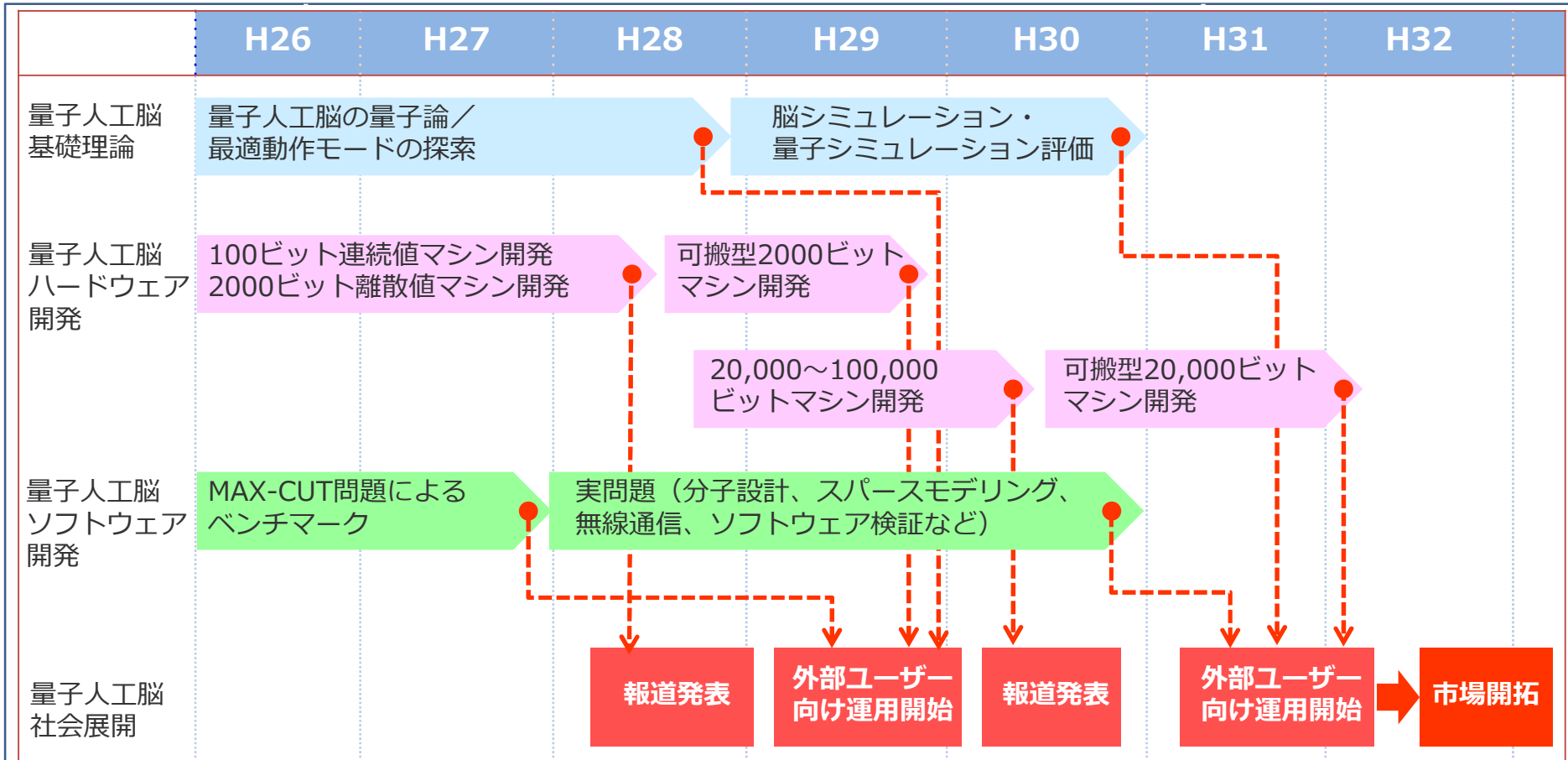
量子コンピュータや量子アニーリングマシンが大規模化できないのは、量子情報が局所スピンに格納されているため、その相互接続に限界があるからである。この点、量子コンピュータや量子アニーリングマシンは、メモリ、プロセッサ、コントロールユニットが空間的に分離されている現代コンピュータと同じアーキテクチャーを持っている。全ての量子情報を計算機全体に広がった波動関数に載せることにより、この接続（通信ボトルネック）の問題は解決できるはずである。このような思想に基いて実現されるコヒーレントイジングマシン、XYマシン、ハイゼンベルグマシン、ユニタリ暗号マシンを、現代のコンピュータの一部（アクセレータ）として接続したものが、本プロジェクトで開発しようとする量子人工脳である。



現代コンピュータが不得意なタスクである、組合せ最適化問題・機械学習はイジングマシンに、脳シミュレーションはXYマシンに、量子シミュレーションはハイゼンベルグマシンに、秘匿計算はユニタリ暗号マシンに、それぞれ分担させる新しい外部ユーザー向けサービスを実現し、社会に提供する。

研究開発プログラムの出口目標 (1/2)

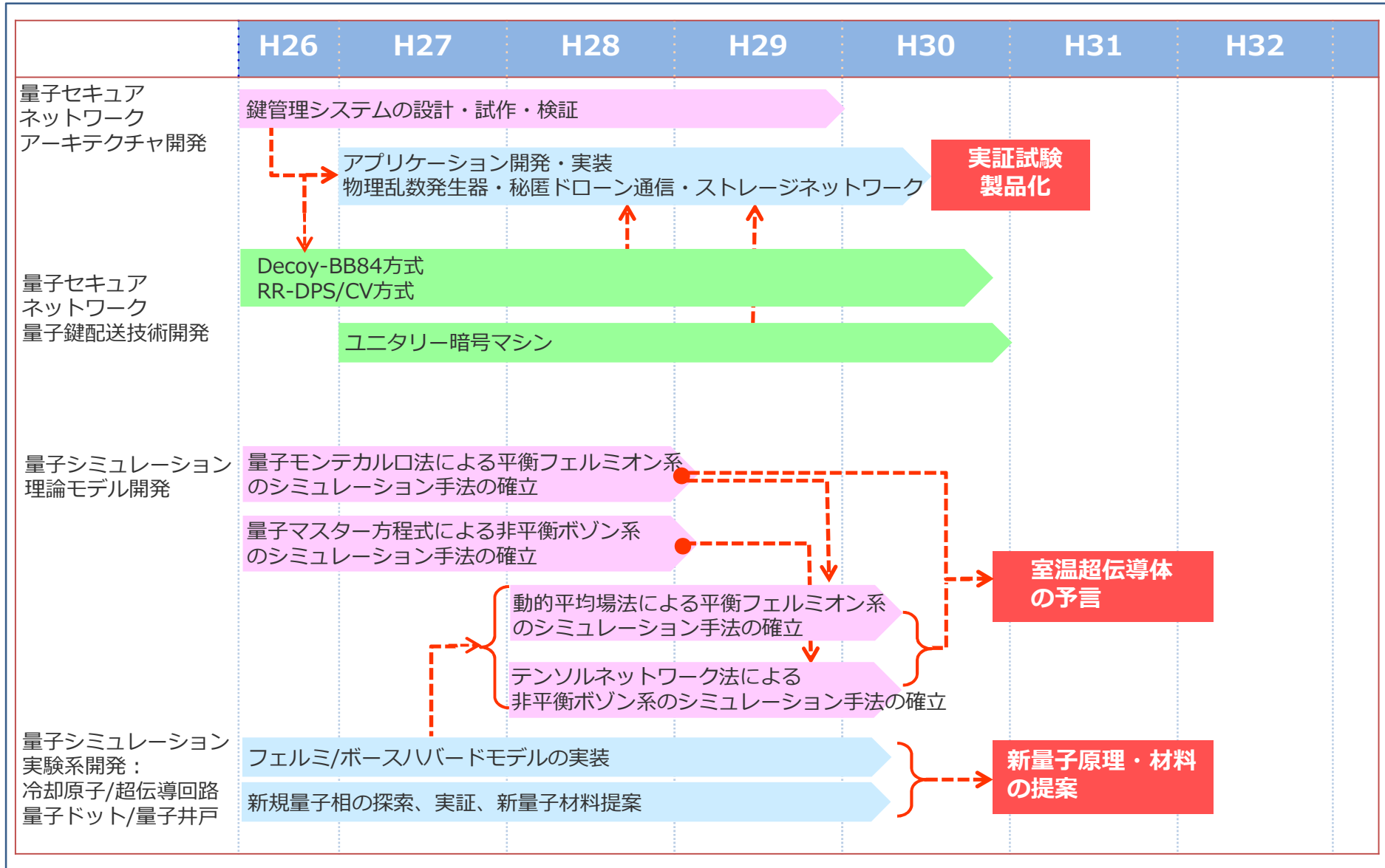
産業や社会のあり方を変革するシナリオ



- H28年度末までに、2000ビット量子人工脳の開発を完了し、報道発表を行なう。
- H29年度半ばまでに、2000ビット量子人工脳の外部ユーザー向け運用を開始する。
- H30年度半ばまでに、様々な実問題アルゴリズムを実装した20,000~100,000ビット量子人工脳の開発を完了し、報道発表を行なう。
- H31年度末までに、20,000~100,000ビット量子人工脳の外部ユーザー向け運用を開始する。
- その後、市場開拓、セキュリティ対策、小型化・低価格化に取り組む。

研究開発プログラムの出口目標 (2/2)

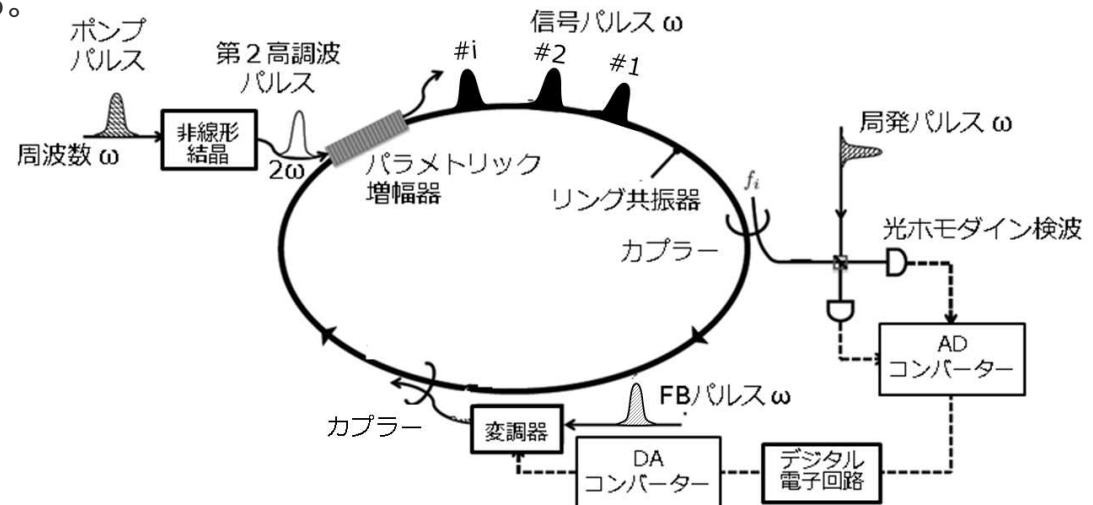
産業や社会のあり方を変革するシナリオ



プログラム構想のブレークスルー

非連続イノベーション、リスクの大きさ

- 量子臨界計算：量子力学の線形重ね合わせ原理を用いた並列探索と干渉効果を用いた量子フィルタリングにより最適解を絞り込み、その後パラメトリック発振（臨界）現象を用いて一つの最適解を一気に選択し出力する（量子-古典クロスオーバー）新しい量子計算原理を提案した。
- 量子ニューロン：光ファイバー共振器を周回する多数の光パラメトリック発振光パルスをニューロンとして用いる。このニューロンは、発振しきい値以下のポンプレートでは量子アナログ素子として振舞い、量子並列探索と量子フィルタリングを可能とする。一方、発振しきい値以上のポンプレートでは、このニューロンは古典デジタル素子として振舞い、量子-古典クロスオーバーにより確定した古典出力を実現する。このアナログ/デジタルの両側面をあわせ持つ量子ニューロンを情報キャリアとする。
- 量子シナプス：光パラメトリック発振光パルスの一部を光ファイバー共振器外に取り出して、ホモダイン検波することにより、内部の光パルスの量子状態を保護しつつ、光パルスの振幅と位相を読み出し、フィードバックパルスを生成する。こうして、光パルス間の任意の結合を一つの量子測定フィードバック回路だけで実現できる。これにより、これまで困難であった全てのニューロン間の任意の重みによる全結合を実装できる。
- これまでのイジングマシンでは、小さな問題サイズ（D-WAVE量子マシンでは $N=15\sim 17$ スピン、日立古典マシンでは $N=160$ スピン）しか扱えなかったが、本方式の採用により、大規模な問題サイズ（ $10,000\sim 100,000$ スピン）を計算できるようになる。



達成目標

達成目標（プログラム終了時の具体的アウトプット）

- ニューロン数2048、シナプス結合数4,194,604（全結合）の中規模量子人工脳をインターネットを介して外部ユーザーに供し、世界中の研究者が自由に使える環境を提供する。
- ニューロン数が10,000～100,000、ニューロン間シナプス結合数が $10^8 \sim 10^{10}$ （全結合）の大規模量子人工脳を光パラメトリック発振器ネットワークで実現する。
- 量子人工脳に搭載するアルゴリズムを、分子設計、通信リソース最適化、スパースコーディング、充足可能性問題、ボルツマンサンプリング、など様々な組合せ最適化問題、機械学習の分野で開発し、クラウドサービスのソフトライブラリーとして一般公開する。また、XYマシン、ハイゼンベルグマシンの脳シミュレーション、量子シミュレーションへの応用可能性を合わせて示す。
- 原理的に盗聴できない暗号鍵を様々な情報端末や制御機器に供給し、機密情報や重要個人情報を安全に、遅延なく、組織をまたいでシームレスに伝送する量子セキュアネットワークを都市圏に構築すると共に、低コスト化、雑音耐性強化できる次世代量子鍵配送技術を開発する。また、秘密計算機能を有するユニタリ暗号マシンの原理検証を行う。

達成目標

具体的達成目標の実現に向けた戦略・シナリオ

- 量子人工脳の計算時間、精度、消費電力を現代コンピュータに搭載した最先端アルゴリズムと定量的に比較する。光パラメトリック発振器（OPO）の実装に関しては、ファイバーOPO、ファイバー4光波混合、ファイバーレーザの3つの実用機を同時に開発して、性能評価する。イジングモデルの実装に関しては、FPGA回路による量子測定フィードバック方式に切り替え、（連続値）全結合10,000サイトマシン、（3値）全結合100,000サイトマシンを開発する。
- 量子セキュアネットワークを物理層/鍵管理層/アプリケーション層の3階層構造で開発する。物理層は10km圏、50km圏、90km圏の量子鍵配送（QKD）リンクから構成し、盗聴検知機能、及びサイドチャネル攻撃対策を実装する。鍵管理層には、異なるベンダーから供給される鍵を統一的かつ効率的に運用する機能を実装し、かつ盗聴攻撃への自動経路切り替え機能などスマート化を進める。アプリケーション層は防衛・金融・医療・スマートインフラ分野のユーザと密接な情報交換を行いながら開発し、専用暗号システム、汎用的なルータ、サーバ、スマート機器への自在な鍵供給を実現する。QKD装置で使われる要素技術は順次、企業への技術移転を通して製品化を推進する。
- 強相関の基本量子系である、スピンもつれ系、ハバードボゾン系、ハバードフェルミオン系などを対象として、理論シミュレーションを推進する。また、冷却原子を用いて数約 10^4 個、 $T/T_F \sim 0.1$ の超低温、 $T_c/T_F \sim 0.1$ の高い転移温度 T_c を预言する特殊な光格子系の量子シミュレーターを開発する。超伝導回路に関しては、サイト数約 10^4 個のジョセフソン接合列あるいは超伝導量子ビット列からなる量子シミュレーター、小型量子回路（2～4チャンネル）によるスケラブルなボゾンサンプリング回路を開発する。量子ドット/量子井戸では、小規模スピン量子回路からなるスピン相関非平衡系の量子シミュレーターを開発する。

プログラム構想・全体像の明確化

戦略・シナリオを克服すべき課題へブレークダウン

- 既の実証済みの10,000~100,000サイト・コヒーレントイジングマシンの光学系の安定動作化を実現する。
- 10,000サイト全結合（連続値）、100,000サイト全結合（3値）を実現するFPGA回路を開発する。
- 外部ユーザーに供するユーザインターフェースのソフト開発をする。
- 個々の応用問題における最適アルゴリズムの探索とそのライブラリー化を実現する。
- 商用ファイバー環境での量子鍵配送の長期安定化、様々なアプリケーションを支える鍵供給インターフェースと大規模鍵管理システムの実現、システム全体の安全性評価技術の確立を行なう。広い動作領域をカバーする変復調回路、誤り訂正符号、及び秘匿ランダム化関数を収納し高速駆動する専用基板の開発をする。
- 精密に制御されたパラメータによって特徴づけられた標準モデルをシミュレートする量子系を、超伝導量子回路・半導体量子ドットでは10サイト以上の、冷却原子では10000サイト以上の十分大きなサイズで実装する。

プログラム構想・全体像の明確化

克服すべき課題目標の達成アプローチ

■ コヒーレントイジングマシン（ハード技術）

NII + スタンフォード大学チーム

スピン数 $N=100$ から $1,000$ の小～中規模システムを開発し、主に厳密化の探索、ボルツマンサンプリングにおける性能を評価する。

NTT + 大阪大学チーム

スピン数 $N=2,000\sim 100,000$ の大規模システムを開発し、主に近似解の高速計算の性能を評価する。

■ コヒーレントイジングマシン（ソフト技術）

東大、京大、東工大、NII

各問題毎にアルゴリズムを開発し、組合せ最適化、機械学習、脳シミュレーション、量子シミュレーションへの応用を開拓する。

■ 量子セキュアネットワーク

NICTがネットワーク・鍵管理を基本設計、NEC、東芝などの企業が量子鍵配送装置・アプリケーションインターフェースを開発し、東大・NTTなどの大学・企業連合で新理論・安全性評価技術を開発する。全チーム連携でネットワーク構築し、超長期間安全なデジタルアーカイブ技術など新しいセキュリティソリューションを実証する。

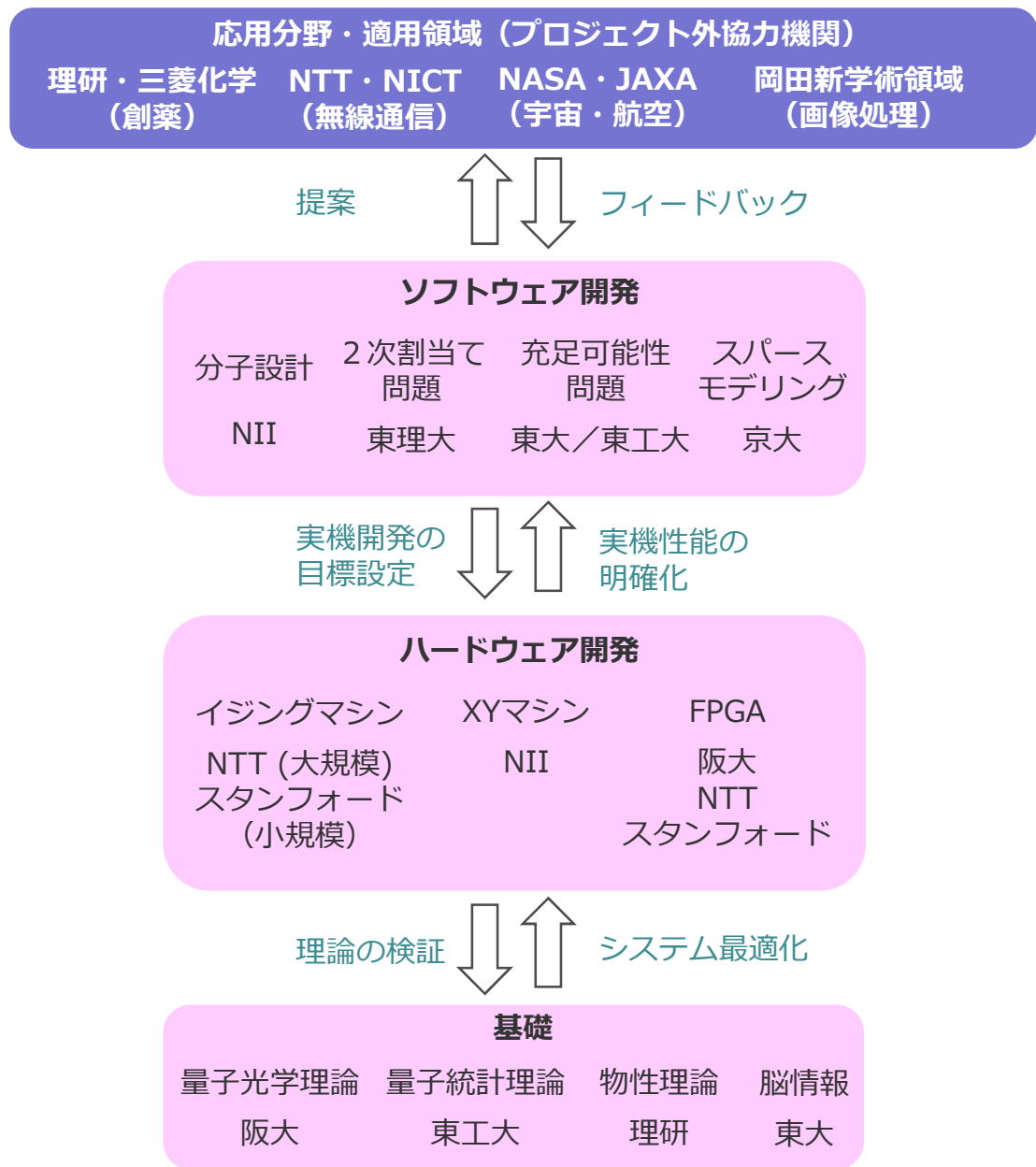
■ 量子シミュレーション

冷却原子 京都大学で 10^4 個程度までのイッテルビウム原子の捕獲数の増大と、 $T/T_F\sim 0.1$ 程度までの量子縮退温度以下への冷却技術、2層正方格子などの光格子形を開発する。

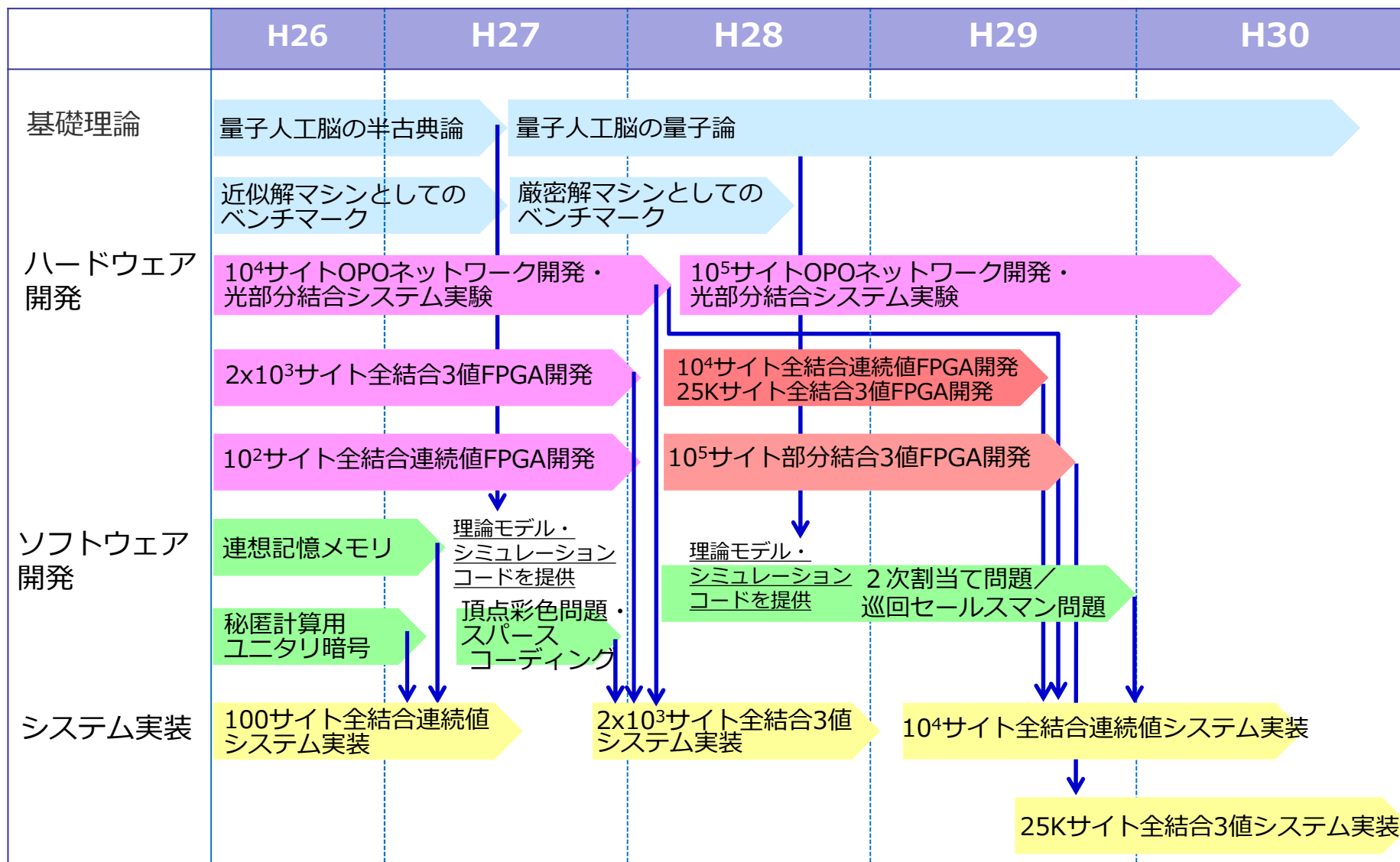
超伝導回路 理研で、 10^4 個程度のサイト数を持つジョセフソン接合列・量子ビット列回路、ボゾンサンプリングの手法に基づく小型超伝導量子回路（2～4チャンネル）を実現する。

量子ドット／量子井戸 理研で1、2次元列量子ドットのスピン量子回路の作製技術の確立とドット列のスピン相関の厳密な制御法の開発により、非平衡時間応答（ $\sim 1\text{GHz}$ ）を検出する。ウルツブルグ大学でポラリトン凝縮制御に最適な半導体量子構造を作製する。

研究開発プログラム全体構成：量子人工脳



研究開発プログラム全体構成：量子人工脳



研究開発プログラム全体構成：量子セキュアネットワーク

- ① 重要機密を扱う専用回線への鍵配送システムを実現
- ② 重要個人情報（ゲノム情報等）を長期間、安全に伝送・保存・処理するストレージネットワークを実証

テーマA：
量子セキュアネットワーク・
アーキテクチャ

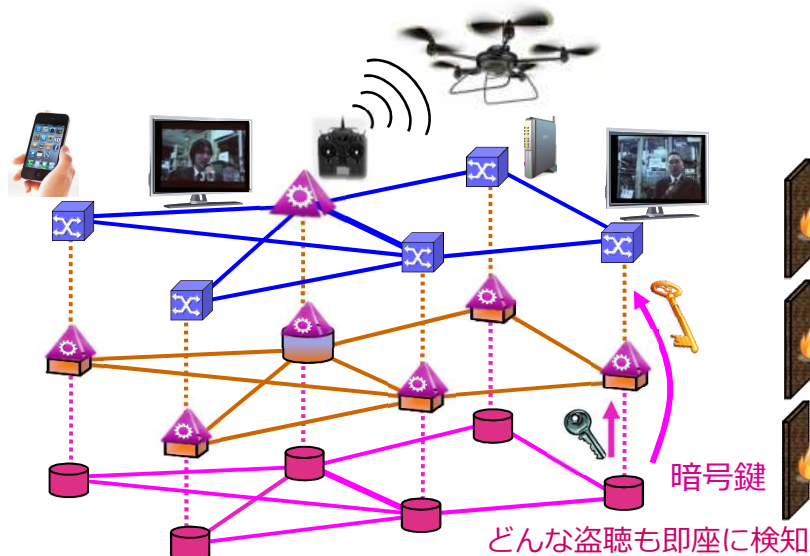
テーマB：
第1世代量子鍵配送技術
(Decoy-BB84方式)

テーマC：
第2世代量子鍵配送技術
(RR-DPS/CV方式) 及び
ユニタリ暗号マシン

アプリケーション層

鍵管理層

物理層



将来の安全性脅威に怯えることのない通信や認証を実現

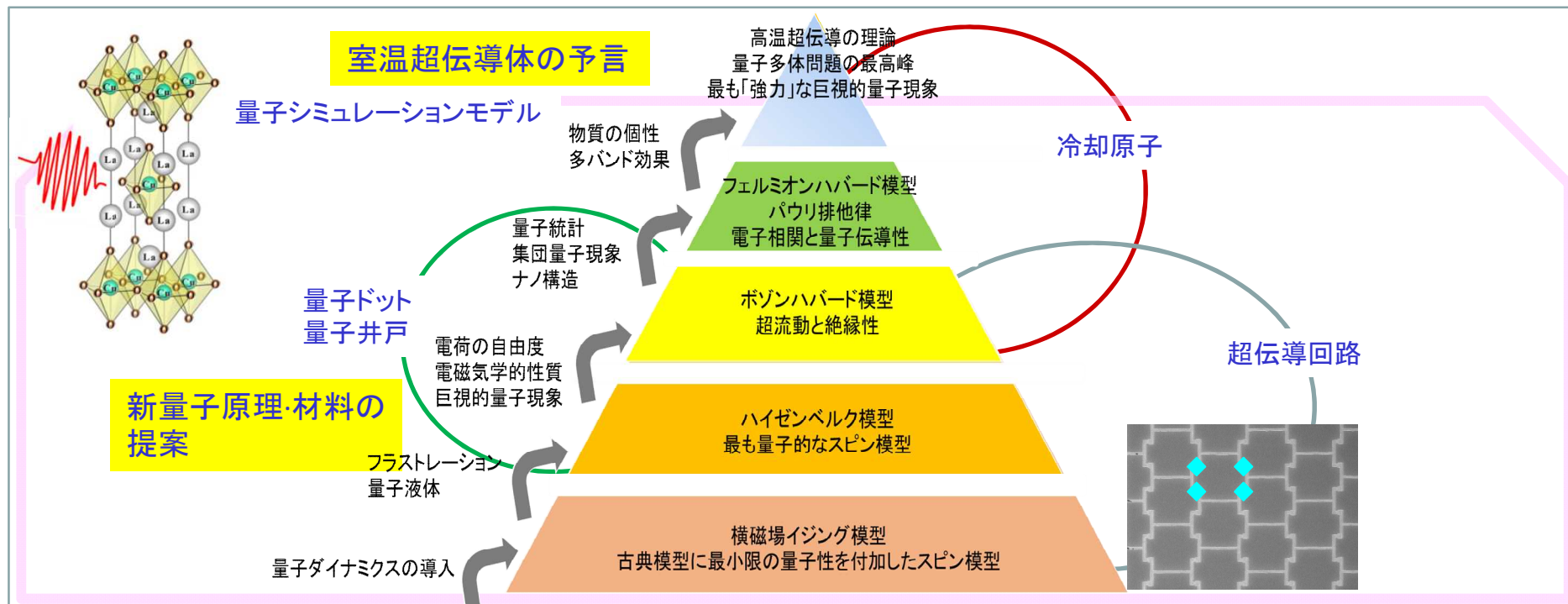
リレー配送による鍵交換

原理的に盗聴できない暗号鍵を生成(2点間)

各克服すべき課題の実施時期

	H26	H27	H28	H29	H30
テーマA	鍵管理システム 基本設計	試作開発	検証	改修	
	アプリケーションの 開発と実装	物理乱数発生器 基本設計	小型化・乱数度の向上		製品化 (ハイエンドユーザ)
		秘匿ドローン通信 基本設計	パケット損・バースト誤り対策、鍵同期技術の開発		製品化 (ハイエンドユーザ)
		ストレージネットワーク 基本設計	実装	検証	実証試験
テーマB	QKD装置 (BB84) 設計	試作	信頼性・安全性評価、改修		ネットワーク化
テーマC	RR-DPS/CV方式	回線暗号化システム (AES)、秘匿スマートフォンネットワーク 基本設計		検証、高効率化、マルチユーザ化	ユーザ開拓
		R-DPS: 実用的装置モデルによる理論構築 / CV: 要素技術開発と装置設計・実装		RR-DPS: 新原理量子鍵配送の探索 / CV: 高機能化と実証試験	
		ユニタリ暗号マシン 基本設計	理論研究と原理実証実験を継続的に実施		

研究開発プログラム全体構成：量子シミュレーション



これまでの進捗と変更後の計画

	H27	H28	H29	H30
理論	量子シミュレーションモデル	量子モンテカルロ法による平衡フェルミオン系のシミュレーション手法の確立 量子マスター方程式による非平衡ボゾン系のシミュレーション手法の確立	第一原理計算との比較による有効性チェックと結晶提案：外部協力 有効性チェック	室温超伝導体の予言
実験	冷却原子 超伝導回路 量子ドット/ 量子井戸	動的平均場法による平衡フェルミオン系のシミュレーション手法の確立 デルソンネットワーク法による非平衡ボゾン系のシミュレーション手法の確立	フェルミハバードモデルの実装、様々な結晶構造、単一原子レベルの測定 ボーズハバードモデルの実装、様々な結晶構造、ダイナミクスの観測 新規量子相の探索、実証、新量子材料提案	有効性チェック 新量子原理・材料の提案

各プロジェクトで選定する実施機関の考え方

研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

量子人工脳プロジェクト：全体統括
量子人工脳のハードとソフトの開発をバランス良く進め、プロジェクト終了時に最終目標が達成されるよう各グループの進捗に責任を持つ。また、高次高調波モード同期ファイバーレーザや非縮退型光パラメトリック発振器によるコヒーレントXYマシン／ハイゼンベルグマシンの装置開発を行ない、各種アルゴリズムを実装したシステム実験を行なう

量子人工脳プロジェクト：ソフトウェア開発
2次割当て問題（創薬、通信ネットワーク）、連想記憶メモリ（代理診断）、頂点彩色問題（交通ネットワーク）、ボルツマンマシン（ディープラーニング、圧縮センシング）などのアルゴリズム開発を行ない、量子人工脳の適応領域を開拓する。

選定に至る考え方・理由

◆ 選定方法：非公募指名、研究機関：国立情報学研究所
量子人工脳（コヒーレントイジングマシン）が発明され、基本特許、関連特許5件を有する。光パラメトリック発振器の量子論を持ち、繰り返し1GHz、5000サイト（パルス）の非縮退型光パラメトリック発振器を有する国内唯一の研究機関である。このマシンは、コヒーレントXYマシンの動作原理実証に適している。様々なNP問題に対する数値シミュレーションによるベンチマークに関して実績を持つ。国立情報学研究所は、長年スタンフォード大学との共同研究の実績を持ち、東大生研、NTT、阪大、東工大、京大を束ねて量子人工脳プロジェクトの全体統括を行なう上で最適な機関である。

◆ 選定方法：非公募指名
研究機関：東京大学、東京工業大学、京都大学
脳における情報処理数理モデルにおいて研究実績があるのは、国内では東大生研とCiNetの2機関である。量子人工脳の実現のために最も重要な側面は、シナプス可塑性に基づく学習過程であり、この知見とニューラルネット用各種アルゴリズム開発の経験を持つのは東大生研のみである。東京工業大学は、コヒーレントイジングマシンの性能向上を図るための情報統計力学の領域で優れた知見を持つ機関であり、京都大学は、コヒーレントイジングマシンの応用分野として有望である圧縮センシングの領域で優れた知見を持つ機関である。

各プロジェクトで選定する実施機関の考え方

研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

量子人工脳プロジェクト：ハードウェア開発
PPLN導波路光パラメトリック増幅器と1~10kmの
光ファイバーからなる大規模システムの開発を行な
い、各種アルゴリズムを実装したシステム実験を
通して量子人工脳の性能を評価する。

量子人工脳プロジェクト：ハードウェア開発
光ファイバOPO装置を制御するフィードバック用
FPGA回路の開発を行なう。

選定に至る考え方・理由



◆ 選定方法：非公募指名、研究機関：日本電信電話株式会社
多重パルス・ファイバーパラメトリック発振器を構成する
ファイバービッグテール付LiNbO₃反転分極導波路デバイス、
光ファイバーリング共振器、超高速光変復調技術を全て有す
る研究機関は、日本電信電話株式会社のみであり、既に独自
開発したサイト数（パルス数）5000~10,000の大型ファイ
バー・パラメトリック発振器を稼働させている上に、関連特
許を2件有している。多重パルス・ファイバーパラメトリック
発振器を開発する上で最適な機関である。



◆ 選定方法：非公募指名、研究機関：大阪大学
FPGA制御回路が多重パルス・ファイバーパラメトリック発振
器に接続できれば、量子人工脳ハードウェアは実現できる。
デジタルコヒーレント光通信において、FPGA回路を用いて
位相雑音や帯域制限による信号歪を除去する技術を有する
機関としては、NEC、富士通、東北大、阪大がある。しかし、
ファイバーパラメトリック発振器の動作と量子光学基礎に
精通し、これとの接続技術、設計能力を持つ機関は大阪大学
のみである。

課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方

研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

量子人工脳プロジェクト：ハードウェア開発
自作による小規模システムで原理実証、ベンチマークを行ないながら、大規模システム開発の方針決定に寄与する。



選定に至る考え方・理由

◆ 選定方法：非公募指名、研究機関：スタンフォード大学
当該機関は、LiNbO₃分極反転導波路デバイス、多重パルス・パラメトリック発振器、量子測定フィードバック制御技術の研究開発で過去20年間にわたり世界をリードしてきた機関である。世界中のこれらの光部品の製造メーカーはほとんど当該研究機関で教育・訓練された研究者の手によりスタートしている。この世界のトップレベルの技術と知識をImpACTプロジェクトに水先案内人として取り込むことにより、研究開発は加速され、結果として我が国の産業競争力の発展に資すると判断する。

量子人工脳：基礎理論
量子人工脳概念、原理、量子基礎理論を確立する。
現代コンピュータに実装される各種アルゴリズムに対する優位性をベンチマーク数値シミュレーションにより実証する。



◆ 選定方法：非公募指名
研究機関：大阪大学，東京工業大学，理化学研究所
量子シミュレーションプロジェクトから移動した。量子人工脳の基礎を確立する一つの柱は量子光学理論であり、大阪大学はこの領域で実績のある機関である。量子人工脳の基礎を確立する別の柱は統計力学であり、東京工業大学はこの領域で実績のある機関である。量子人工脳の基礎を確立する更に別の柱は物性理論であり、理化学研究所はこの領域で実績のある機関である。理化学研究所は、量子人工脳と量子シミュレーションの2つのプロジェクトに関わる。

課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方

研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

量子セキュアネットワークプロジェクト：量子セキュアネットワーク・アーキテクチャーの研究開発
量子鍵配送のみならず従来のセキュリティ技術にも精通し、実用的な量子セキュアネットワークの設計が行える。グローバル化に向けた革新的技術開発ができる。各グループの進捗管理、連携調整能力を有する。



選定に至る考え方・理由

◆選定方法：非公募指名、研究機関：情報通信研究機構
長年、産学官連携プロジェクトを運営し世界最高性能の量子鍵配送テストベッド（Tokyo QKD Network）の開発と運用実績を有する国内唯一の研究機関である。また、ネットワークのセキュリティー技術、最先端の光子検出技術や衛星光通信技術を有し、グローバル化に向けた研究で世界をリードしている。以上の観点から、量子セキュアネットワークチームの全体統括をする機関とする。

量子セキュアネットワークプロジェクト：第1世代量子鍵配送技術（Decoy-BB84）
世界最高速の量子鍵配送装置の開発能力を有する。あるいは現代暗号のトップ技術を有し、量子鍵配送との統合による新しいセキュリティ技術の開拓ができる。量子鍵配送の安全性証明や有限符号長での安全性解析、および実験データに基づく実用的な安全性評価技術に関する研究開発で実績を有する。



◆選定方法：非公募指名、研究機関：日本電気株式会社、株式会社東芝、三菱電機株式会社、北海道大学、東京工業大学、日本電信電話株式会社
Decoy BB-84方式量子鍵配送装置の開発で伝送速度と伝送距離の性能において世界トップレベルの技術を有するとともに、現代暗号でも一般市場から国家安全保障用途までカバーする競争力の高い技術を有するのは、日本電気、東芝、三菱電機の3社である。北海道大学とNTTは、量子鍵配送の実験データに基づく安全性評価技術の研究で実績を有し、安全性証明や実地的な有限符号長での安全性解析でも世界をリードしている研究グループであり、東工大は長距離化に適した秘匿通信プロトコルを提唱している。

量子セキュアネットワークプロジェクト：第2世代量子鍵配送技術（RR-DPS/CV方式）およびユニタリ暗号マシン
我が国発のプロトコルで携あるRR-DPSに精通している。CV-QKD技術の開拓開発実績を有する。



◆選定方法：非公募指名、研究機関：東京大学、学習院大学
東京大学は、雑音に強い量子暗号の新原理の発見に成功し（Nature 2014）、新原理の開拓に当たることにより、大きな成果が期待できる。学習院大学はコヒーレント光通信技術に基づく量子鍵配送技術を長年研究してきた国内唯一の機関であり、低コスト化に向けた研究開発に最も適したチームである。

課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方

研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

量子シミュレーションプロジェクト：量子シミュレーションモデル（理論）
室温超伝導体の候補となりうる結晶構造を固定し、その第一原理バンド計算が行なえる。得られた材料パラメータを基に、量子多体モデルを用いた数値シミュレーションにより超伝導転移温度 T_c を予言できる能力を持つ。



選定に至る考え方・理由

◆ 選定方法：非公募指名、研究機関：理化学研究所
◆ 選定方法：公募、研究機関：東京大学、理化学研究所
量子シミュレータの出口の最有力候補は、材料物性科学、特に強相関物性であるが、理化学研究所はこの分野の国内第一人者が結集した研究機関である。永長グループは、強相関物性理論では世界的レベルにある、また、Noriグループは、強相関電子系および非線形量子光学系を記述する様々な理論モデルを数値シミュレーションする量子多体系の新計算手法を開発する実力を有する。東京大学の青木／川島グループは、世界の先端を行っている「非平衡動的平均場理論(DMFT)」を構築しており、これを発展させることによって、非平衡量子多体系に対する強力な量子シミュレーション手法を開発することができる。

量子シミュレーションプロジェクト：冷却原子（実験）
理論グループが開発したフェルミオン系量子シミュレーションモデルの妥当性を実験により検証できる能力を持つ。また、この理論予測（高温超伝導体）の原理実証を行なう実験技術がある。



◆ 選定方法：非公募指名、研究機関：京都大学
◆ 選定方法：公募、研究機関：理化学研究所
京都大学は、冷却原子、特にYb原子の7つのアイソトープ系を用いた量子シミュレーションの実験的研究で我が国トップの研究グループであり、その制御性を追求している点でも最も量子シミュレータの実現に近いグループである。特に、単一サイトの観測手段を有し、ボゾン-フェルミオン混合系を実現する技術を有する。また、理化学研究所の福原グループは、2次元光格子中の単一原子操作・観察技術を開発してきた実績を持ち、光格子ボース原子気体で構成させる量子シミュレータの開発とその理論を確立する実力を有する。

課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方

研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

量子シミュレーションプロジェクト：超伝導回路（実験）
理論グループが開発したボゾン系量子シミュレーションモデルの妥当性を実験により検証できる能力を持つ。また、この理論予測（高温超流動）の原理実証を行なう実験技術がある。

量子シミュレーションプロジェクト：量子ドット／量子井戸（実験）
新規量子相の探索と実証を行なえる実験技術を有する。

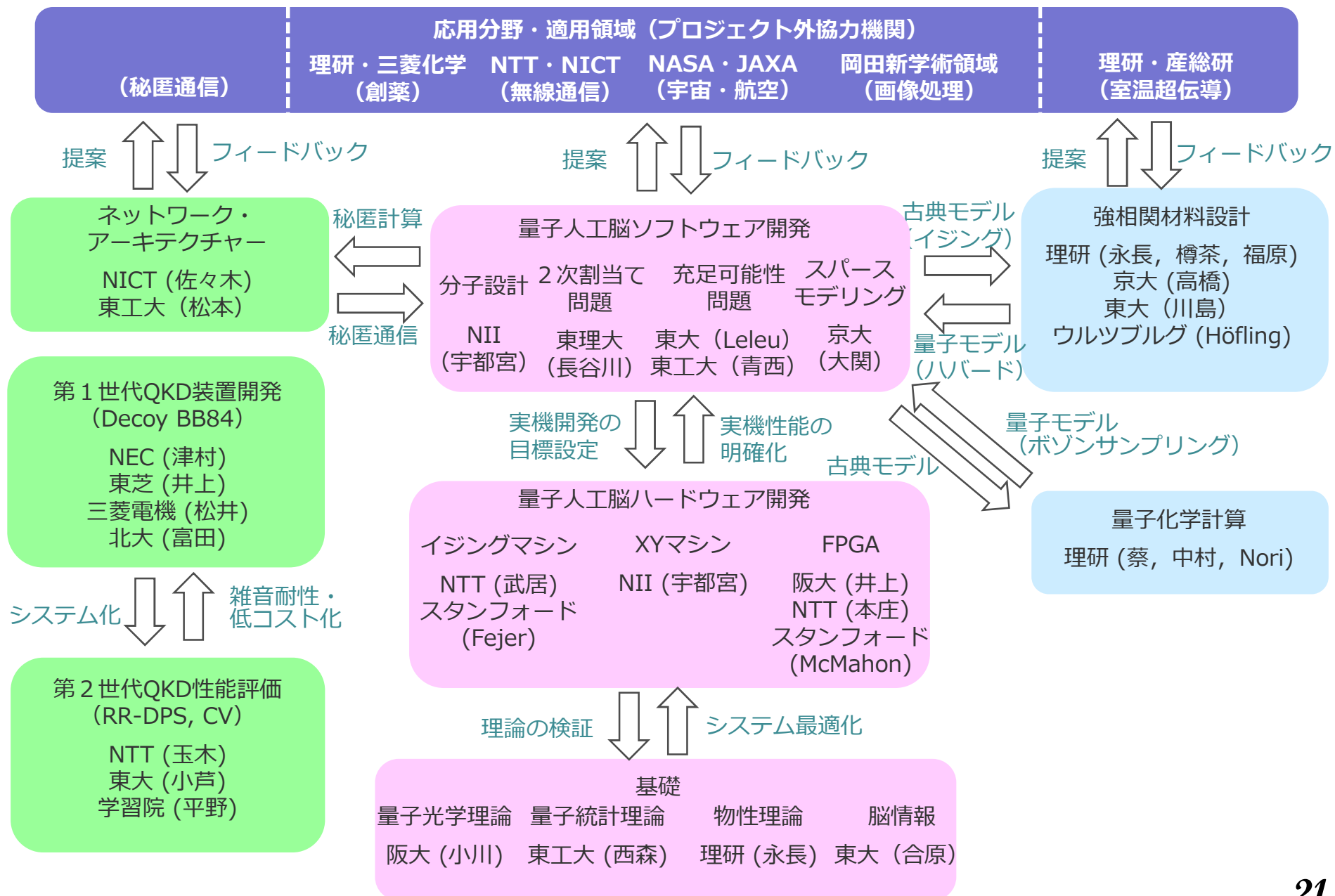


選定に至る考え方・理由

◆ 選定方法：非公募指名、研究機関：理化学研究所
量子シミュレータの出口の最有力候補は、材料物性科学、特に強相関物性であるが、理化学研究所はこの分野の国内第一人者が結集した研究機関であり、超伝導量子回路を用いた量子情報処理実験では世界的レベルにある。

◆ 選定方法：非公募指名
研究機関：理化学研究所、ウルツブルグ大学
量子シミュレータの出口の最有力候補は、材料物性科学、特に強相関物性であるが、理化学研究所はこの分野の国内第一人者が結集した研究機関であり、量子ドットスピンを用いた量子情報処理実験では世界的レベルにある。ウルツブルグ大学は、III-V族化合物半導体を用いた量子井戸マイクロキャビティに形成される励起子ポラリトンの横方向閉じ込め機能を付加したデバイスを作製する技術において、世界トップレベルにある。同レベルの技術を持つ他のグループとして、フランスCNRSの Blochのグループがあるが、量子シミュレータに適した電流注入型プレーナ構造を作製できるのは当該機関のみである。このブレークスルーは、今年のNature誌に掲載された。当該機関のデバイスを用いて量子シミュレーションの原理確認実験を行なうことは、我が国の産業競争力に直接的インパクトはないが、長期的に科学的知見を我が国に蓄積することを通して、量子シミュレータ開発の道筋を明らかにし、よって国際競争力に資すると判断する。

研究開発プログラム全体の体制図



研究開発プログラム予算の想定

	H26	H27	H28	H29	H30	未配分
研究費総額 (3,000百万円)	294.450百万円	956.599百万円	582.533百万円	539.700百万円	398.526百万円	228.192百万円
量子人工脳 (1,249.848百万円)						
全体総括 (330百万円 : 国立情報学研究所)	50百万円	80百万円	80百万円	65百万円	55百万円	
ハードウェア開発 : イジングマシン (313百万円 : 日本電信電話株式会社)	100.65百万円	149.05百万円	51.7百万円	11.6百万円	0	
ハードウェア開発 : イジングマシン (70百万円 : スタンフォード大学)		37百万円	13百万円	11百万円	9百万円	
ハードウェア開発 : XYマシン (37.5百万円 : アルネアラボラトリ)		30百万円	7.5百万円	H28第一四半期で終了		
ハードウェア開発 : 量子測定フィードバック制御 (117百万円 : 大阪大学)	10百万円	80百万円	9百万円	9百万円	9百万円	
ソフトウェア開発 (233.498百万円 : 東京大学, 東京工業大学, 京都大学)	11百万円	47.96百万円	41.918百万円	70.050百万円	62.570百万円	
基礎理論 : 量子光学理論 (50百万円 : 大阪大学)	6百万円	11百万円	11百万円	11百万円	11百万円	量子シミュレーションから移動
基礎理論 : 量子統計力学 (30百万円 : 東京工業大学)		4.07百万円	11.716百万円	7.04百万円	7.024百万円	量子シミュレーションから移動
基礎理論 : 物性理論 (69百万円 : 理研 永長)	9.9百万円	18.59百万円	15百万円	15百万円	10.51百万円	量子シミュレーションから一部移動

研究開発プログラム予算の想定

	H26	H27	H28	H29	H30
量子セキュアネットワーク (954百万円)					
ネットワーク・アーキテクチャー (383百万円: 情報通信研究機構)					
	20百万円	115百万円	100百万円	89百万円	59百万円
第1世代量子鍵配送/量子鍵配送 (455百万円) (340百万円: 日本電気株式会社、100百万円: 株式会社東芝、15百万円: 三菱電機株式会社)					
	17.5百万円	191.109百万円	88.752百万円	100.536百万円	57.103百万円
第1世代量子鍵配送/安全性理論・ドキュメント作成 (25百万円) (11百万円: 北海道大学、7百万円: 東工大、7百万円: NTT)					
	0.5百万円	6.3百万円	4.397百万円	7.312百万円	6.491百万円
第2世代量子鍵配送/RR-DPS方式 (54百万円: 東大)					
	2.5百万円	13百万円	13百万円	13百万円	12.5百万円
第2世代量子鍵配送/CV方式 (37百万円: 学習院大学)					
		3.3百万円	12.3百万円	11.7百万円	9.7百万円

研究開発プログラム予算の想定

