

量子技術の実用化推進WG 第三回 会議資料

# 量子コンピューティングの早期産業化に向けた NECの取組と提言

2022年12月6日(火)

日本電気株式会社

取締役 執行役員常務 兼 CTO 西原 基夫

# NECの量子コンピューティング技術開発

- NECは量子(ゲート/アニーラ)・疑似アニーラで量子コンピューティングをリード
- 現時点で量子で最も事業化に近いのがアニーリング。民間企業としてはこの市場機会を取り込みつつ、将来の量子時代の技術をシームレスに取り込めるプラットフォームとしたい。

2020-2021

シミュレーテッドアニーリング・量子アニーリングを活用し  
応用研究を加速

大規模な問題に対応する  
アニーリングマシンの提供を開始

2030

量子アニーリングとゲート方式による  
課題解決モデルの提供を目指す

2000

1999 **世界初**

固体素子  
量子ビットの  
動作実証を成功

〈Nature誌掲載※1〉



2020

2023

量子アニーリングマシン上で  
長時間「量子重ね合わせ状態」  
の保持を目指す



※2

2030

2040

2040

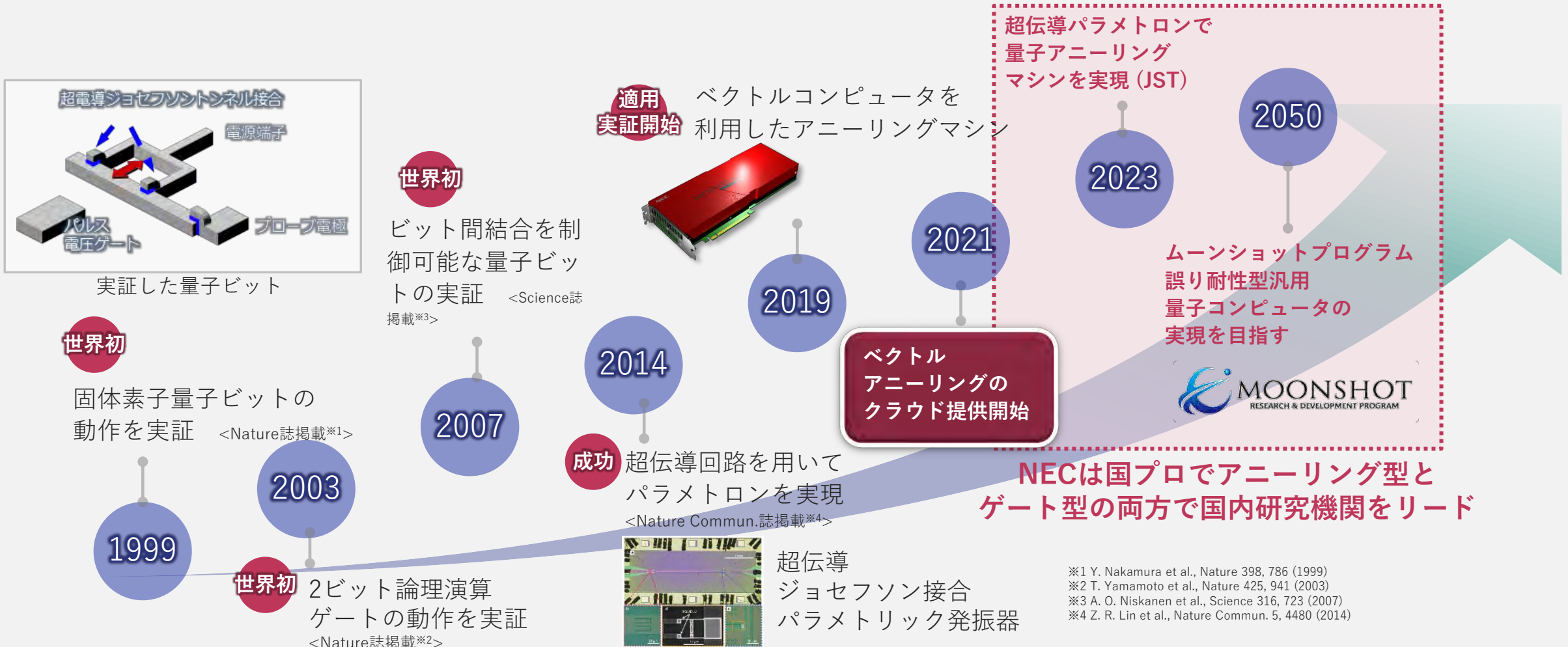
誤り耐性方式実現を見据えた  
MOONSHOTプログラムを推進



※1: Y. Nakamura et al., Nature 398, 786 (1999) ※2: これは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の成果を一部活用しています。

# (参考) NEC研究開発歴史の詳細

- アニーリングプロセッサの開発は成熟しつつあり、実用化・製品化が既に進んでいる。
- 誤り耐性をもつ量子コンは、ムーンショット型研究開発事業(JST)にて実現を目指す



# 量子コンピューティングの分類

- 量子コンピューティングにはアニーリング方式と量子ゲート方式の2つの方式がある

## 量子コンピューティング (量子の振る舞いを取り入れたものを含む広義)

**アニーリング方式 等**  
イジングモデルを物理法則などを利用して解く  
組合せ最適化問題に特化した手法

量子アニーリング  
超伝導回路

デジタル回路

光パラメトリック  
発振

D-Wave

NEC

産総研

NEC

日立

富士通

東芝

NTT

**量子ゲート方式**  
従来コンピュータのビットを  
量子ビットに置き換え計算する手法

NEC

理研

IBM

Google

Rigetti

IonQ

※NEC調べ(紙面の都合上、必ずしも全ての研究機関を網羅しているわけではありません)

# 量子コンピュータのアプリケーション全体

■ 内閣府、調査会社、コンサルファーム等が見込む活用分野：金融・化学・製薬・ヘルスケア・物流など

	金融	化学 素材	製薬 バイオ	製造	ヘルスケア 生命科学	物流	交通	広告	自動車	インフラ	公共	宇宙	防衛	暗号	エネ	航空
内閣府	○			○		○	○	○								
Gartner	○	○	○											○		
Fortune	○	○		○	○						○					
Research Dive	○	○			○				○			○	○			○
Markets & Markets	○	○	○		○	○	○				○	○	○			○
NRI	○	○	○	○	○	○		○						○		
Roland Berger	○			○	○	○		○		○						
A.T. Kearney	○	○	○						○	○						○
McKinsey	○	○	○	○			○		○							
IBM		○	○		○											○
NEC	○	○	○	○		○	○	○		○	○					

出所) 各社発表資料をNECが統合

# 量子アニーリングの市場

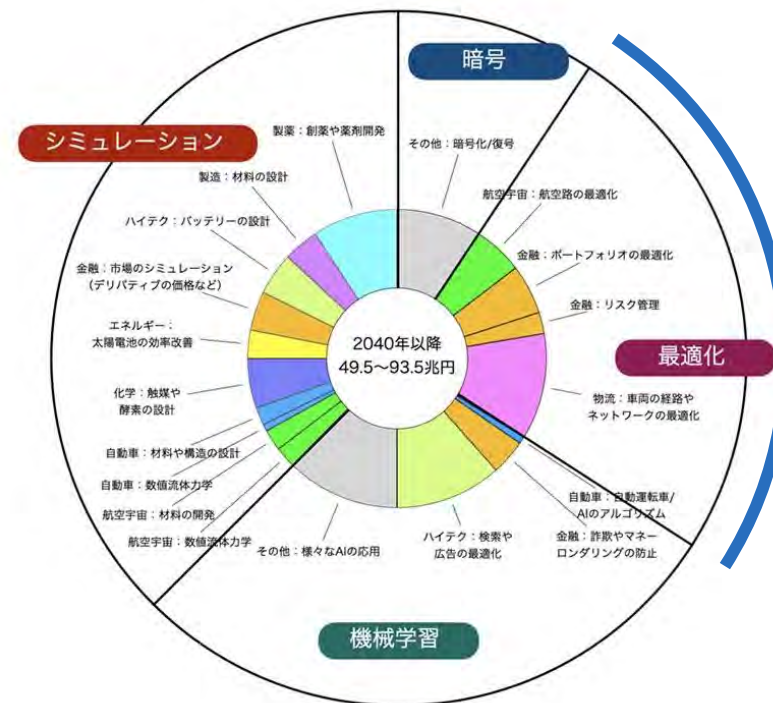
## ■ 量子コン市場でアニーリング向けアプリケーション市場が大きな割合を占めている

\*Gate型はNISQ

赤字は量子アニーリング型でも対応可能

~100bit Gate型	<ul style="list-style-type: none"> <li>ランダム性の認定(金融)</li> <li>スケジュールの最適化(自動車)</li> <li>ルートとフリートの最適化(物流)</li> <li>臨床試験サイト選択最適化(医薬品)</li> </ul>
~10000bit アニーリング型	
~1000bit Gate型	<ul style="list-style-type: none"> <li>合成データ生成(医薬品、化学)</li> <li>近似量子力学シミュレーション(医薬品、化学)</li> <li>小規模量子強化学習(金融)</li> </ul>
~10万bit アニーリング型	<ul style="list-style-type: none"> <li>担保とポートフォリオの最適化(金融)</li> <li>ロボット経路最適化(自動車)</li> <li>生産プロセス最適化(化学)</li> </ul>
~10万bit	<ul style="list-style-type: none"> <li>軽いリスクシミュレーション(金融)</li> <li>分子シミュレーション(医薬品、化学、自動車)</li> <li>トレード戦略最適化(金融)</li> <li>タンパク質フォールディング(医薬品、化学)</li> </ul>
~100万bit RSA暗号が突破	<ul style="list-style-type: none"> <li>金融・サイバーリスクのシミュレーション(金融)</li> <li>大規模分子シミュレーション(医薬品、化学)</li> <li>複雑な混合シミュレーション(医薬品、化学)</li> <li>固体材料シミュレーション(自動車、化学)</li> <li>有限要素法(自動車)</li> <li>サプライチェーン最適化(自動車、化学)</li> </ul>

量子コン市場における量子アニーリング用途は  
長期的にも~3割を占める



## 2040年以降の量子コンピューターがもたらす価値の内訳

出所：<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01901/00010/>  
(日経クロステック2022年1月26日掲載：ポストンコンサルティンググループの発表データを基に作成)

出所：ポストンコンサルティンググループ  
「What Happens When 'If' Turns to 'When' in Quantum Computing?」(2021年7月)

# 量子アニーリングの事例

NECの量子アニーリングを活用した事例

物流業

## 積み荷・ルート最適化

例：どのトラックにどの宛先の荷物を積むか問題

- 幅/長さ量は様々
- ト/重制限あり
- トラックのサイズ、最大積載量は様々
- 荷物のサイズ、重トラック毎、宛先毎に料金が異なる

運賃表例 (単位:円)

距離別 車種別	小型車 (2tクラス)	中型車 (4tクラス)	大型車 (10tクラス)	トレーラー (20tクラス)
10km	15,790	18,060	22,540	27,940
20km	17,660	20,160	25,330	31,550
30km	19,410	22,270	28,120	35,160
40km	21,220	24,370	30,920	38,770
50km	23,040	26,480	33,710	42,380
60km	24,850	28,580	36,500	45,990
70km	26,660	30,690	39,290	49,600
80km	28,470	32,790	42,090	53,200
90km	30,280	34,890	44,880	56,810
100km	32,090	37,000	47,670	60,420

効果 積載率の向上。属人性の排除。

## 配送計画最適化

背景・課題

- 保守事業における保守部品配送の物流コストを削減したい
- 個人スキルに依存した配送計画業務の属人性を軽減したい

実施内容

配送時刻やエリア、手段など膨大な組み合わせから最適な配送計画を自動で立案

膨大な組み合わせから最適な配送計画を策定

緊急対応  
定期保守  
時間指定  
配送時刻

〇〇区  
△△区  
□□区  
▽▽区  
◇◇市  
配送エリア

部品の種類  
配送手段

効果

- ベテランの人手による計画と同水準の計画を自動生成できることを確認
- 試算時の上限値である30%の配送効率向上を目指し、チューニング中

[https://jpn.nec.com/press/202209/20220909\\_03.html](https://jpn.nec.com/press/202209/20220909_03.html)

製造業

## 多品種少量生産最適化

例：締め切り日異なる数百品種のオーダーに対して当日の最適な生産計画(製造順)を立案

- 生産する品種が切り替わるたびに発生する「段取り替え時間」を最小化したい
- 品種はいくつかのグループに分類されており、同じグループの品種を連続的に生産すると効率が良い
- 当日締め切りのオーダーは必ず生産する

当日締め切り 翌日締め切り n日後締め切り

効果

[https://jpn.nec.com/quantum\\_annealing/case/necplatforms/index.html](https://jpn.nec.com/quantum_annealing/case/necplatforms/index.html)

## 生産計画最適化

■ 当日製造する品種の選択イメージ

■ 製造順序最適化イメージ

最短

人による計画立案

熟練工でも1時間

- 熟練工の不足、後継者育成問題
- システム化・アルゴリズム化が困難

アニーリングによる計画立案

数秒で完了

熟練工より、数パーセント無駄の少ない計画立案が可能であることを検証

[https://jpn.nec.com/press/202003/20200317\\_01.html](https://jpn.nec.com/press/202003/20200317_01.html)

アニーリングが得意とする組合せ最適化問題に関する多様なニーズが高まっている

# (参考) NECの疑似量子アニーリングサービス

- NECの疑似アニーラサービスは、ビット数を30万規模\*に拡大し、求解性能も高速化。クラウドサービスも提供し、組合せ最適化ニーズにいち早く対応。

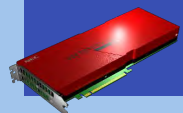
2022年8月29日プレスリリース\*\*

オンプレミス

クラウドサービス

## NEC Vector Annealingサービス

NECのベクトルプロセッサ(高速行列計算・高速メモリアクセス)と、  
独自アニーリングアルゴリズムにより  
大規模アニーリング最適化の高速処理を実現



## Leap Quantum Cloud Service

D-Waveの  
Leap Quantum Cloud  
Serviceを、NECによる  
日本語サポート含めて提供

## 量子コンピューティング 適用サービス

お客様の業務課題に対して  
技術検証などトータルにサポート

業務課題抽出  
テーマ検討

最適化方式検討  
仮説設定

定式化・机上検証  
プロトタイプ開発

現場適用検証  
チューンアップ

## 量子コンピューティング 教育サービス

お客様のDX化や  
AI活用を加速する  
量子コンピューティング  
人材育成を支援

基礎編

量子コンピューティングとは何か、  
どのような課題が解決できるのか、  
短時間で学べるプログラム

実践編

量子アニーリングによる  
課題解決のプログラミングスキルを  
獲得できるサービス

\*約500都市の巡回セールスマン問題でも高速に解くことが可能 \*\*[https://jpn.nec.com/press/202208/20220829\\_01.html](https://jpn.nec.com/press/202208/20220829_01.html)



# 量子アニーリングの先行開発の意義

## ■ 市場形成：量子アニーラの商用化により、国内の自律的な市場形成/人材育成を喚起

- “2030年に1,000万人が量子技術を意識せずに使用できる社会(Q-STAR)”への第一歩
- 実用段階のアニーリング技術から順次市場に投入していくことで、プロセッサ以外のシステム環境/インフラの整備や量子の知見蓄積を通じた迅速な市場形成・社会実装の加速につながる。

## ■ 有効性：15-30年後もアニーリングが得意な組合せ最適化が市場の3割を占める

## ■ ゲートへの発展性：量子アニーリングの技術成果は、将来の誤り耐性型にも活用可能

■ 市場機会を捉え、実用段階にあるアニーリングから順次市場投入することが将来の量子発展の鍵

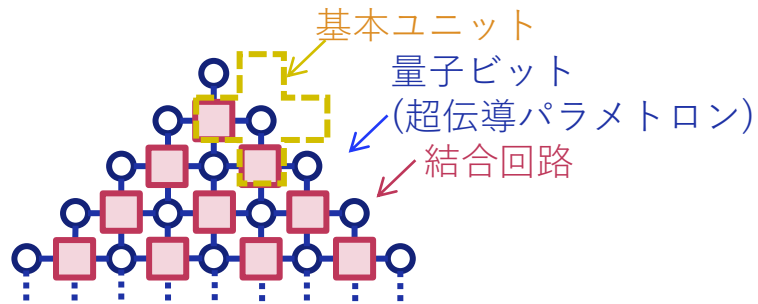
■ 市場で洗練された実用化技術は次世代技術に適用でき、開発が加速



# (参考) 量子プロセッサ開発へのNECの取り組み

- 疑似アニーラは、解く問題規模の拡大に伴い、実用時間での高精度な求解が限界 (組合せ爆発)
  - 一方、量子アニーラは、1000bit級でも $\mu$ 秒で求解でき、リアルタイムに最適化結果を提供可
- ⇒ NECは量子本来の強みを活かす量子アニーラも主軸に開発を継続

## NECのビット配置方式



NECの量子ビットと親和性の高い  
4ビット + 結合回路で構成される  
基本ユニットの繰り返し配置を  
採用し高い結合度を実現

> 1,000量子ビット

>1,000bitの多ビット化に向け、素子の  
安定化・冷凍機内の配線数削減を実現す  
る低温エレクトロニクス開発も継続

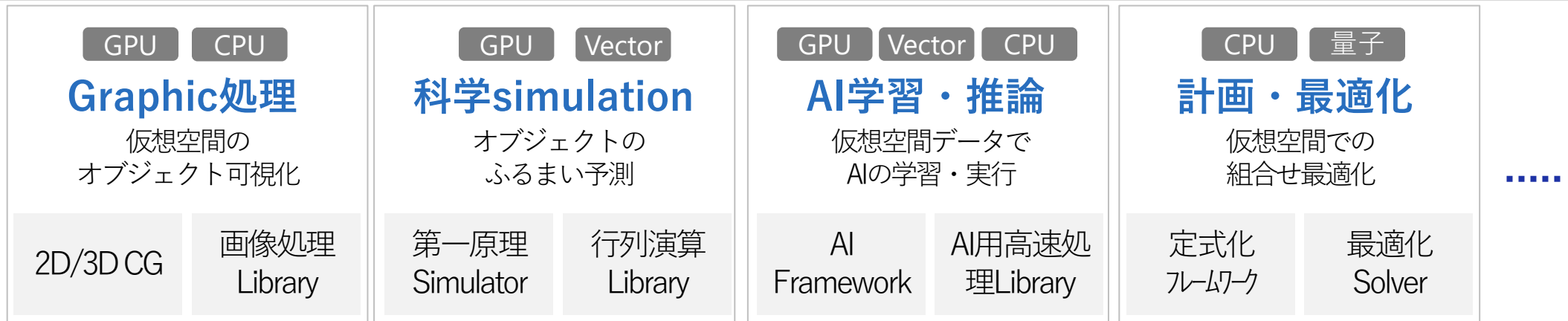
基本ユニット(4量子ビット)

100量子ビット

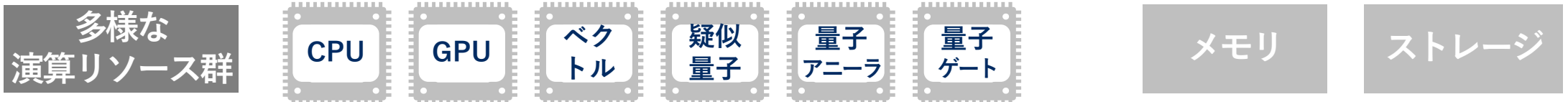
# ハイブリッドコンピューティングの重要性

- 社会価値創出には、量子コンピュータを含めた大規模データを高効率・高速に処理できるコンピューティングの実現が必須である。
- 現段階で量子のみで解けるユースケースはまだ少なく、古典プロセッサ群を統合したハイブリッド形態での量子プロセッサの投入は、量子技術の普及・社会実装を大きく加速する。

## アプリ要求



## ハイブリッドコンピューティング

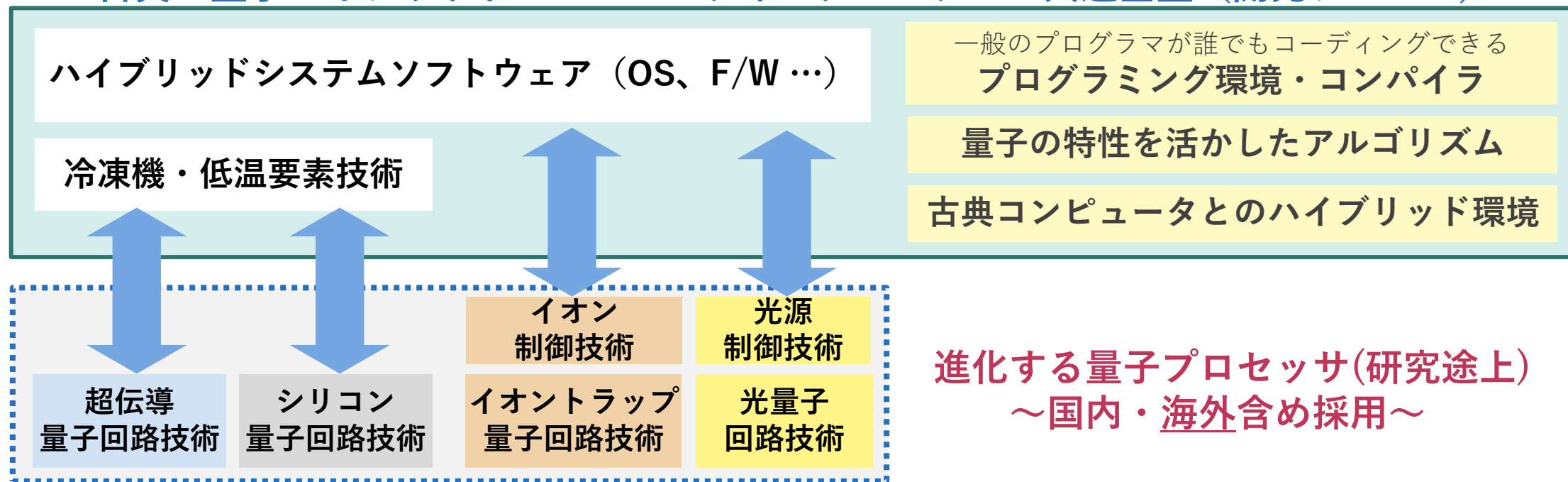


# 古典・量子ハイブリッドコンピューティングシステムの実現に向けて

- 研究(量子プロセッサ)・開発(共通基盤)・アプリ開拓の並走がポイント
- 特に、プロセッサ・アプリがつながる共通基盤部分では、多様なプロセッサ群を統合できるハイブリッドアーキテクチャやシステムソフトウェア環境の整備、インターフェースの標準化が重要となる。

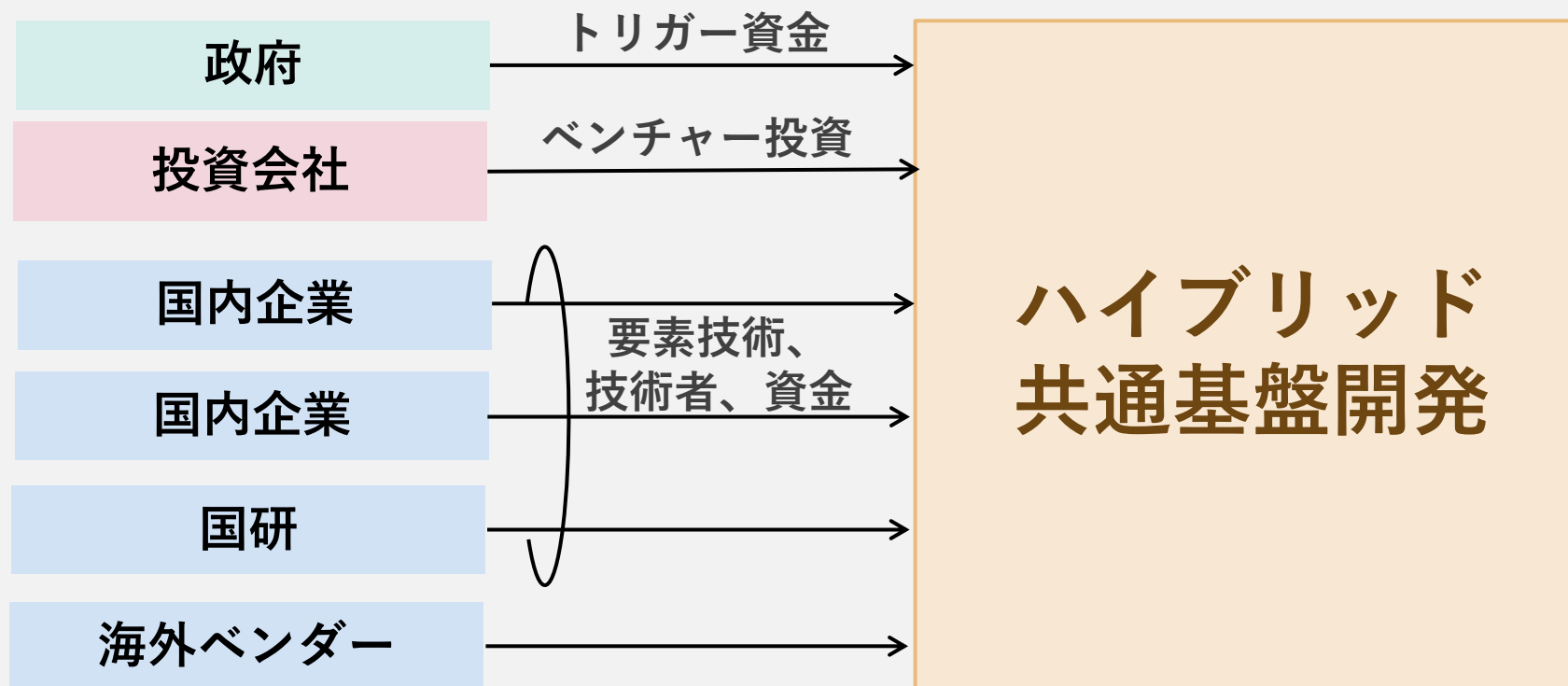
各産業領域で課題を解決するアプリケーション（疑似量子含めたトライアル/POC）

古典・量子ハイブリッドコンピューティングシステムの共通基盤（開発フェーズ）



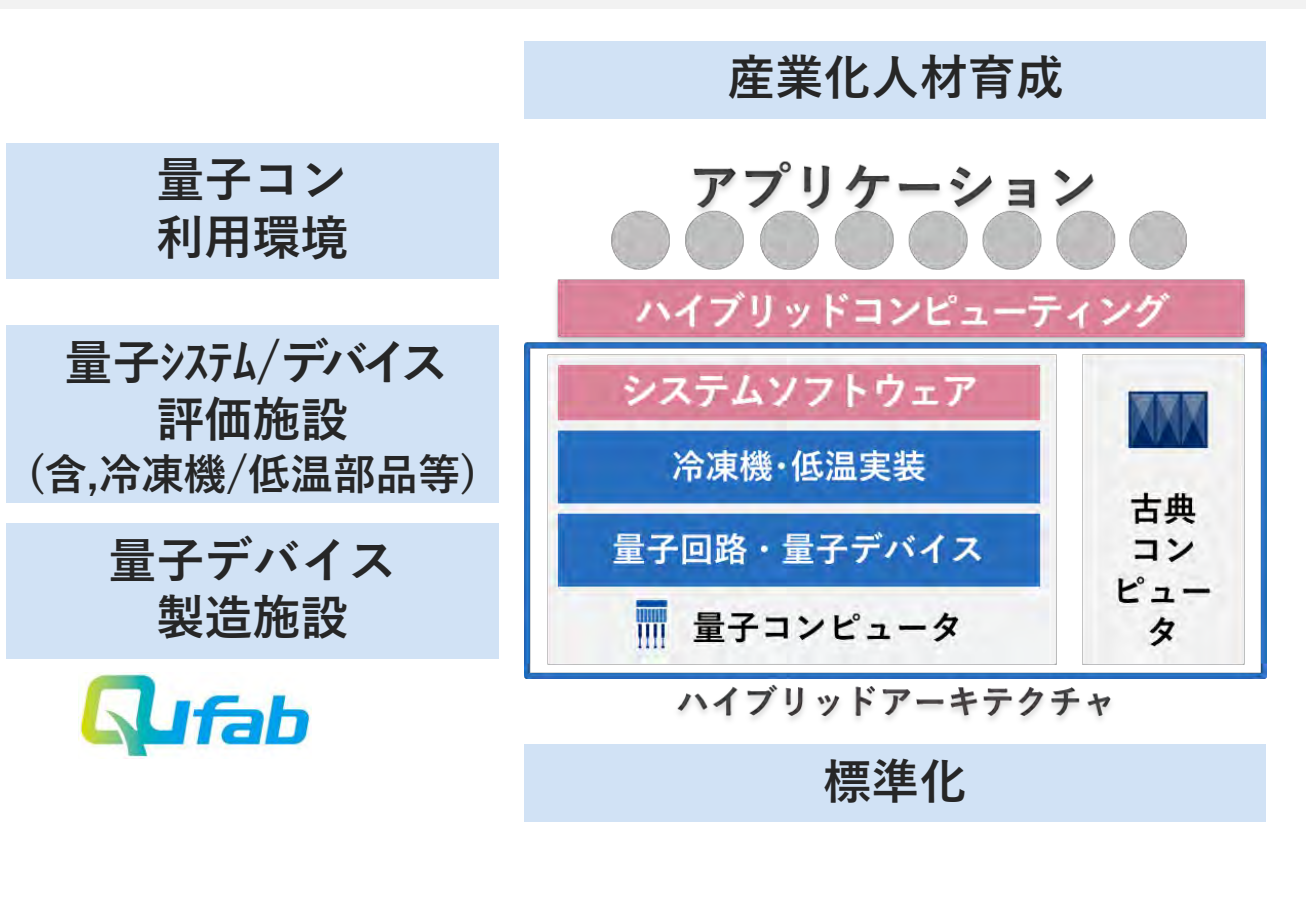
# オープンイノベーションによる共通基盤開発

- 競争領域であるプロセッサ・アプリ開発に対し、それらを支える共通基盤は差異化要素が小さく、業界として共通基盤を整備することで多くの企業が恩恵を享受できる。
- 量子関連企業の協力の下、オープンイノベーションでの協調開発と集中的な資金支援により、効率的に産業化が促進される。



# 産総研・グローバル拠点への期待

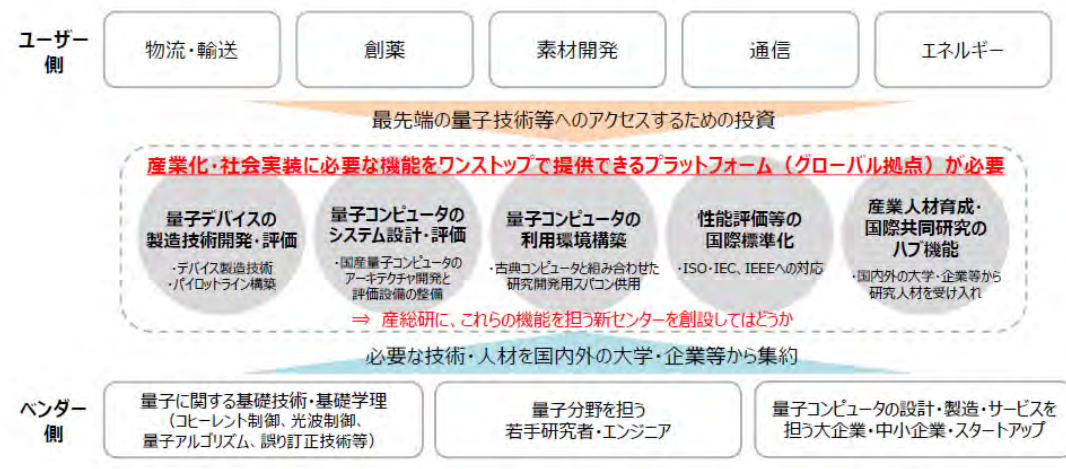
- 量子コンピューティングシステムの開発に必要なとなるインフラ整備と人材育成に期待
- NECは既に冠ラボとして産総研と強固に連携、NECとして拠点整備にも尽力



## 参考資料

### 対応の方向性：量子コンピュータに関する官民戦略（具体的取り組み）

- 量子技術が社会実装され、民間投資で自律的に成長する市場を形成するためには、早い段階から、産業化を見据えた、アプリケーション開発やサプライチェーン構築、人材育成、標準策定等に着手することが必要。
- 不確実性の高い量子分野への民間投資を引き出すため、長期間にわたって技術・知見・ネットワーク等にアクセス可能となる産業化の核となるグローバル拠点が必要か。

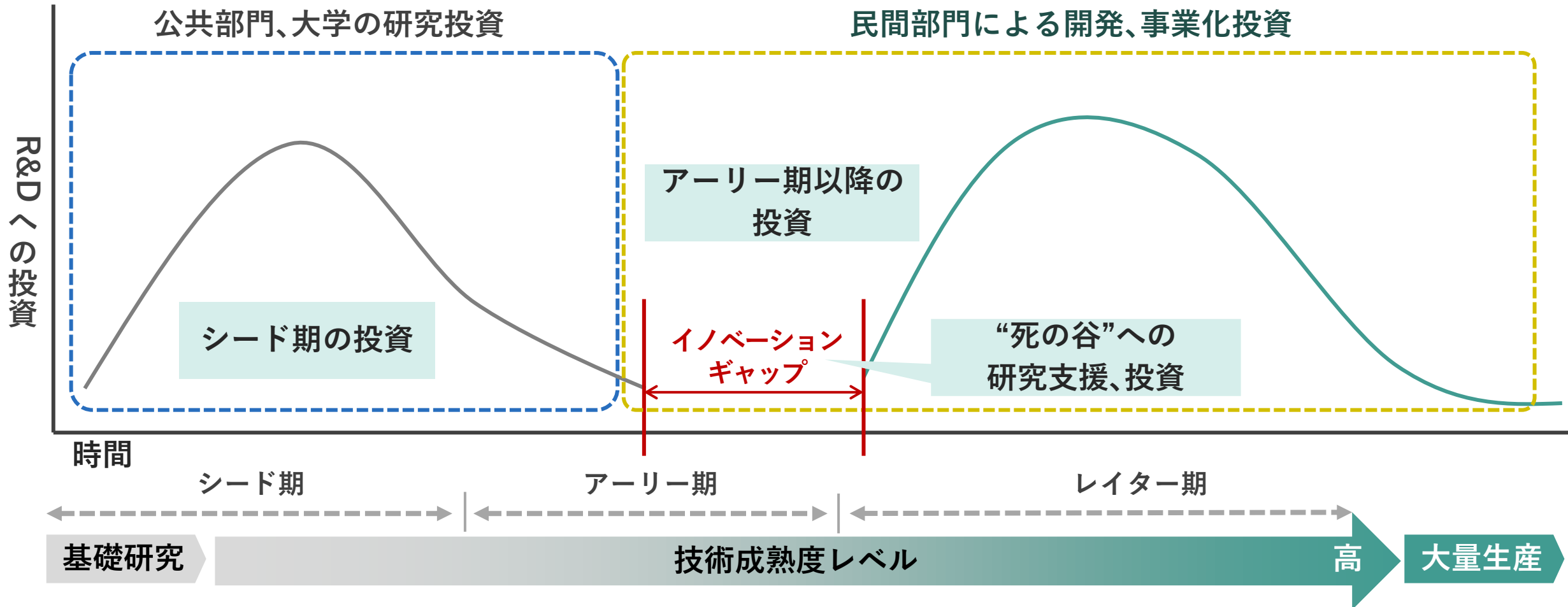


第4回 産業構造審議会 経済産業政策新機軸部会 資料(抜粋)

[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/shin\\_kijiku/pdf/004\\_06\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/shin_kijiku/pdf/004_06_00.pdf)

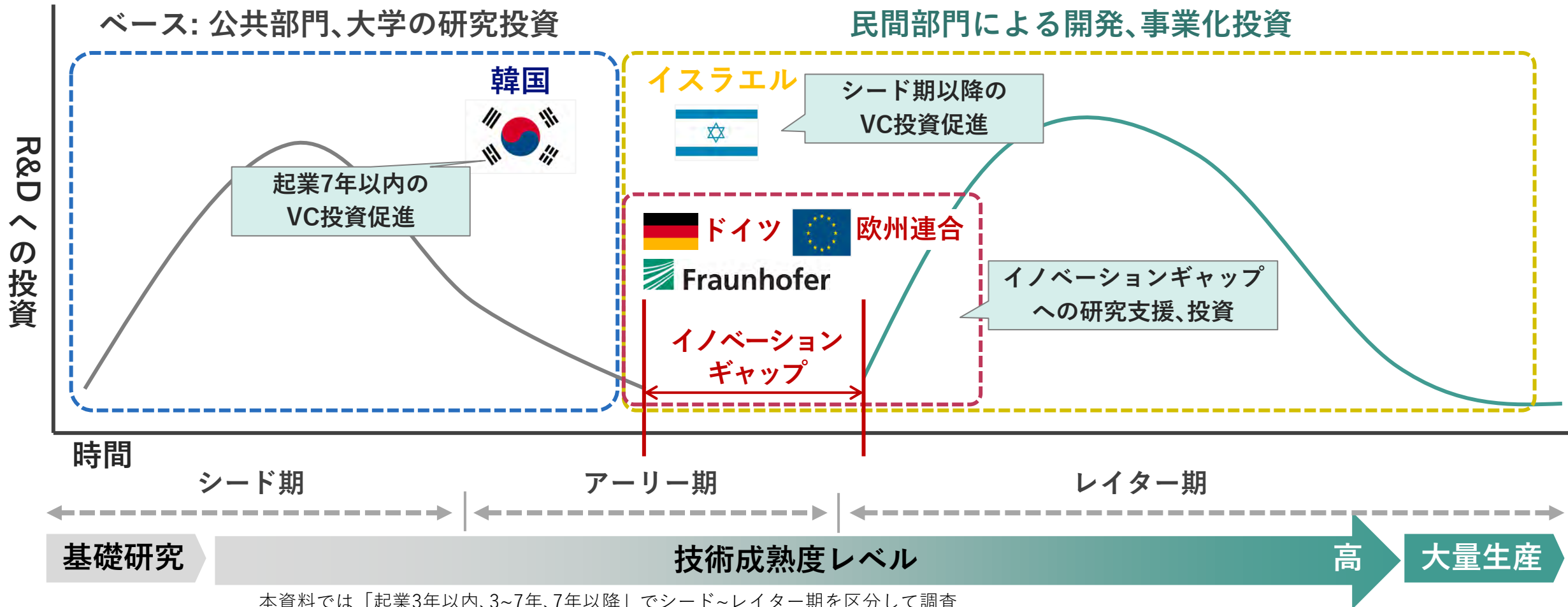
# 投資フェーズの考え方

- シード期=研究フェーズ vs. アーリー期/レイター期=実用化の開発フェーズ



# イノベーションギャップを克服する取り組み（先進各国の事例）

- 公共部門の研究投資に加え「民間投資や研究支援のスキーム、施策」を活用して、技術の事業化・スケール化を促進



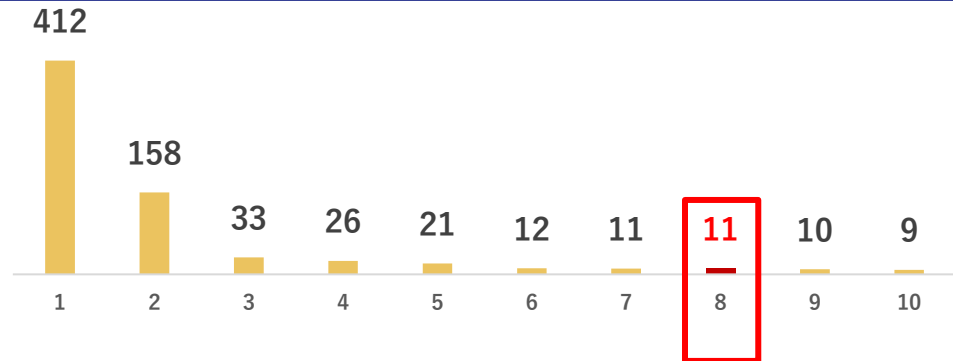
本資料では「起業3年以内、3~7年、7年以降」でシード~レイター期を区分して調査  
 調査レポート内で別途定義があった場合、定義に準ずる（上記図は、あくまで'特徴的な事例と実績'に基づいた区分）



# 世界銀行の分析 ⇒ 開発フェーズの投資不足

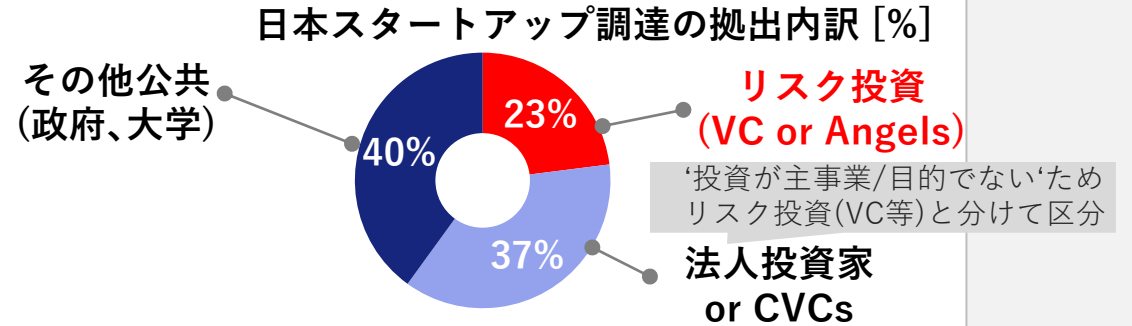
## ■ 事業化に必須の”レイター段階資金”不足、海外VCの呼び込みはできていない

極端に少ないユニコーン企業数 (2021/1時点)



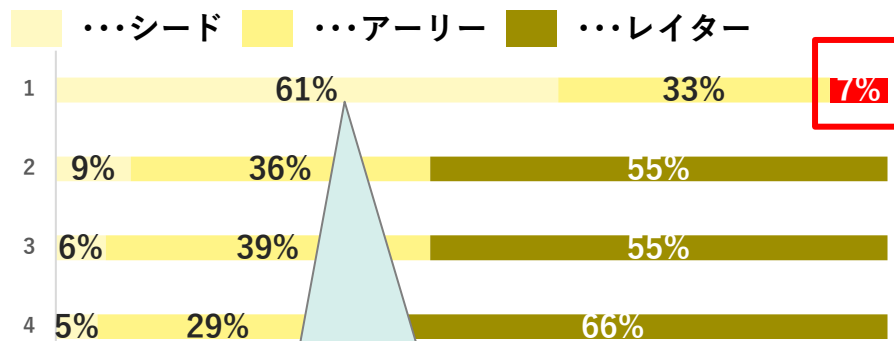
出典: 上図は内閣府レポート「スタートアップ・エコシステムの現状と課題, 我が国スタートアップ・エコシステムの課題①」スライド参照し、NECにて作成

日本投資全体で見た、リスクマネーの少なさ



出典: 上図はTOMORUBA記事「世界銀行が6000超のヒアリングから分析した、日本スタートアップエコシステムの弱点とは、Start-up Funding」図を参照し、NECにて作成

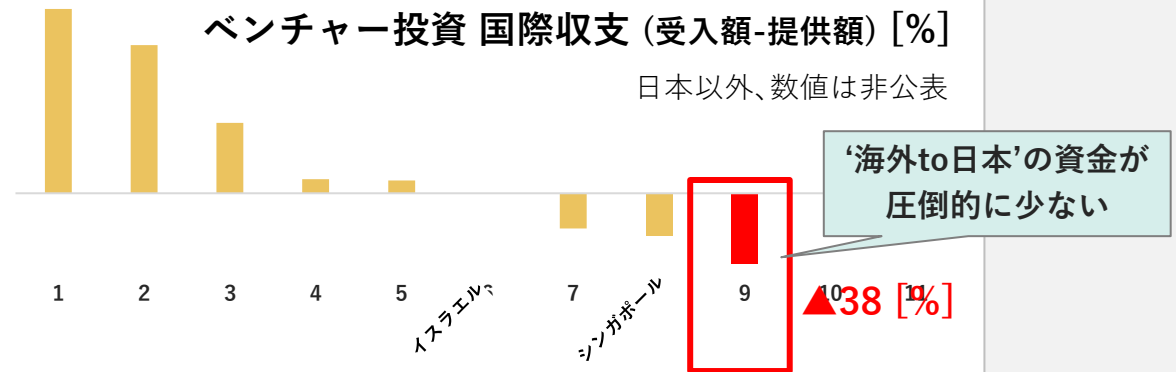
成長段階の資金不足



出典: 上図は内閣府レポート「スタートアップ・エコシステムの現状と課題, 我が国スタートアップ・エコシステムの課題①」スライド参照し、NECにて作成

日本は極端に’シード投資’集中、グロース企業のアクセル資金不足が指摘される

海外VC投資の少なさ



出典: 上図は内閣府レポート「スタートアップ・エコシステムの現状と課題, 我が国スタートアップ・エコシステムの課題①」スライド参照し、NECにて作成

# 量子技術産業化への提言

## ① 国産量子アニーリング技術の早期産業化の重要性

- 政府の研究投資の成果でもある実用間近の量子アニーリング技術はアプリケーションの市場も大きく、そのニーズも高まっている。開発フェーズを乗り切る投資に対する国の継続支援が重要。
- 並行して、リスクの高い量子プロセッサ性能向上の研究開発への投資は継続して必要。

## ② 共通基盤導入の促進・オープンイノベーションによる協調開発の支援

- 業界として共通基盤化を促進する取組が重要。量子関連企業の協力の下、オープンイノベーションでの協調開発と集中的な資金支援により、効率的な産業化加速が可能。

## ③ 産総研・グローバル拠点設立における量子技術産業化支援への期待

- 量子デバイス等の製造/評価設備やオープンイノベーションの共創の場の提供
- 量子技術人材、量子活用人材の戦略的育成

# 今後もNECは量子コンピューティングを活用し 社会課題解決に向けた取り組みを進めていきます

## 共創パートナーとの取り組み

### 広告/公共/インフラ

- マッチング/  
レコメンド
- 通信基地局制御
- 監視センサー制御

### 製造

- 生産計画
- 部品発注計画
- SI高度化

### 交通/物流

- 乗務員シフト
- 配送計画
- 積荷配置

### 金融

- カード不正検知
- モンテカルロ・  
シミュレーション
- リスク計算データ補完

### 素材開発/創薬

- スクリーニング
- 実験パラメータ探索

※研究中、顧客実証～実用に至るものが含まれています

Leap Quantum Cloud Service  
(2021年中～提供開始)

NEC Vector Annealing サービス  
(2021年11月～提供開始)

量子コンピューティング適用サービス  
/ 教育サービス (2021年11月～提供開始)

\ Orchestrating a brighter world

**NEC**