



東京大学情報基盤センター  
INFORMATION TECHNOLOGY CENTER, THE UNIVERSITY OF TOKYO



JHPC-quantum



東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

# 事業項目③: 量子・スパコン連携スケジューラ および量子・HPC連携ソフトウェアの カップリング技術の研究開発



Wisteria  
BDEC-01



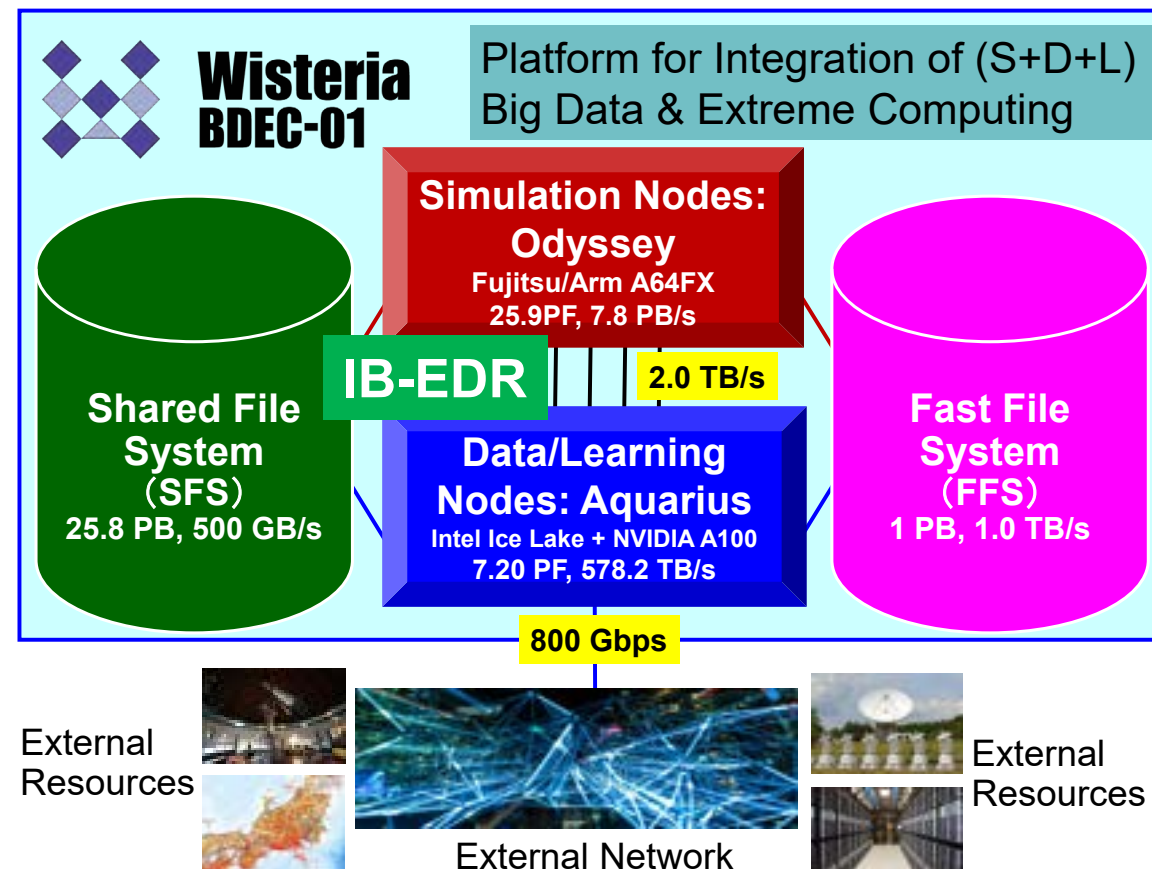
中島 研吾  
東京大学情報基盤センター

2025年12月12日

# ヘテロジニアスなシステムを利用した 「計算・データ・学習」融合 (S+D+L)



- **Wisteria/BDEC-01 (2021年5月～)**
  - **Odyssey: 計算ノード群 (A64FX) (7,680)**
  - **Aquarius: データ／学習ノード群 (NVIDIA A100) (360)**
    - 計算資源の78%はOdyssey (CPU)
- **Miyabi (2025年1月～) JCAHPC**
  - Miyabi-G with NVIDIA GH200 (1,120)
  - Miyabi-C with Intel Xeon Max ( 190)
    - 計算機資源の98%はMiyabi-G (GPU)
- **h3-Open-BDEC (2019年6月～2023年3月)**



# ヘテロジニアスなシステムを利用した 「計算・データ・学習」融合 (S+D+L)

IB-NDR (400Gbps)		
IB-NDR200 (200)		IB-HDR (200)
<b>Miyabi-G</b> NVIDIA GH200 1,120 78.2 PF, 5.07 PB/sec	<b>Miyabi-C</b> Intel Xeon Max (HBM2e) 2 x 190 1.3 PF, 608 TB/sec	<b>File System</b> DDN EXA Scaler 11.3 PB, 1.0TB/sec All Flash Storage

- Miyabi (2025年1月～) JCAHPC**

- Miyabi-G with NVIDIA GH200 (1,120)
- Miyabi-C with Intel Xeon Max ( 190)

– 計算機資源の98%はMiyabi-G (GPU)

- h3-Open-BDEC (2019年6月～2023年3月)

FUJITSU

ddn

SUPERMICR

intel

nvidia



JCAHPC

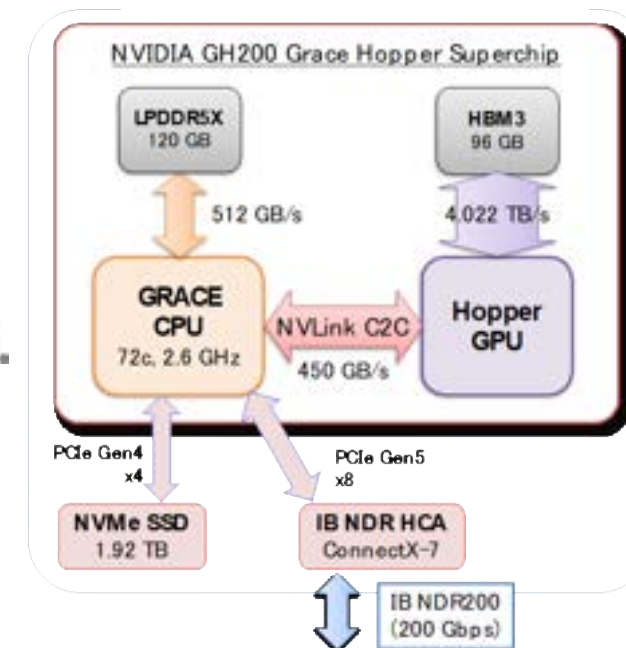
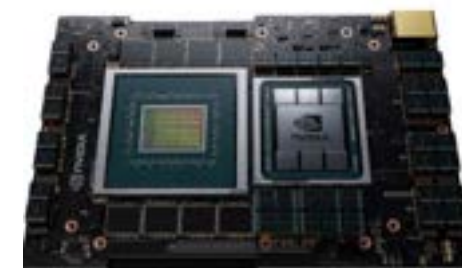


筑波大学  
University of Tsukuba



東京大学  
The University of Tokyo

miyabi

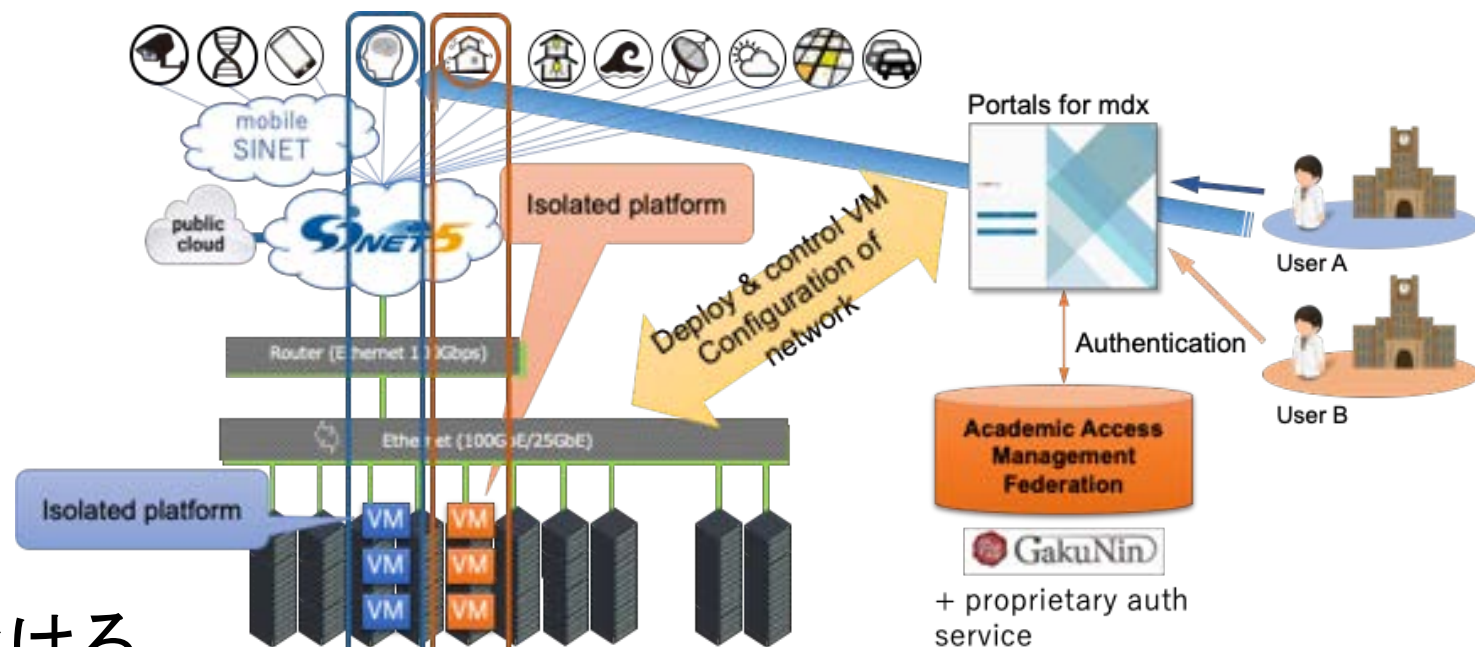


# mdx: データ社会創成プラットフォーム

## 9大学, 2研究機関で共同運営



- スーパーコンピュータと同じHWを使用し, 「クラウド」並みのセキュリティでデータ活用に重点を置いた高性能仮想化環境
- QC-HPCハイブリッド環境における, ワークフローサーバー, オーケストレーションサーバーとして活用



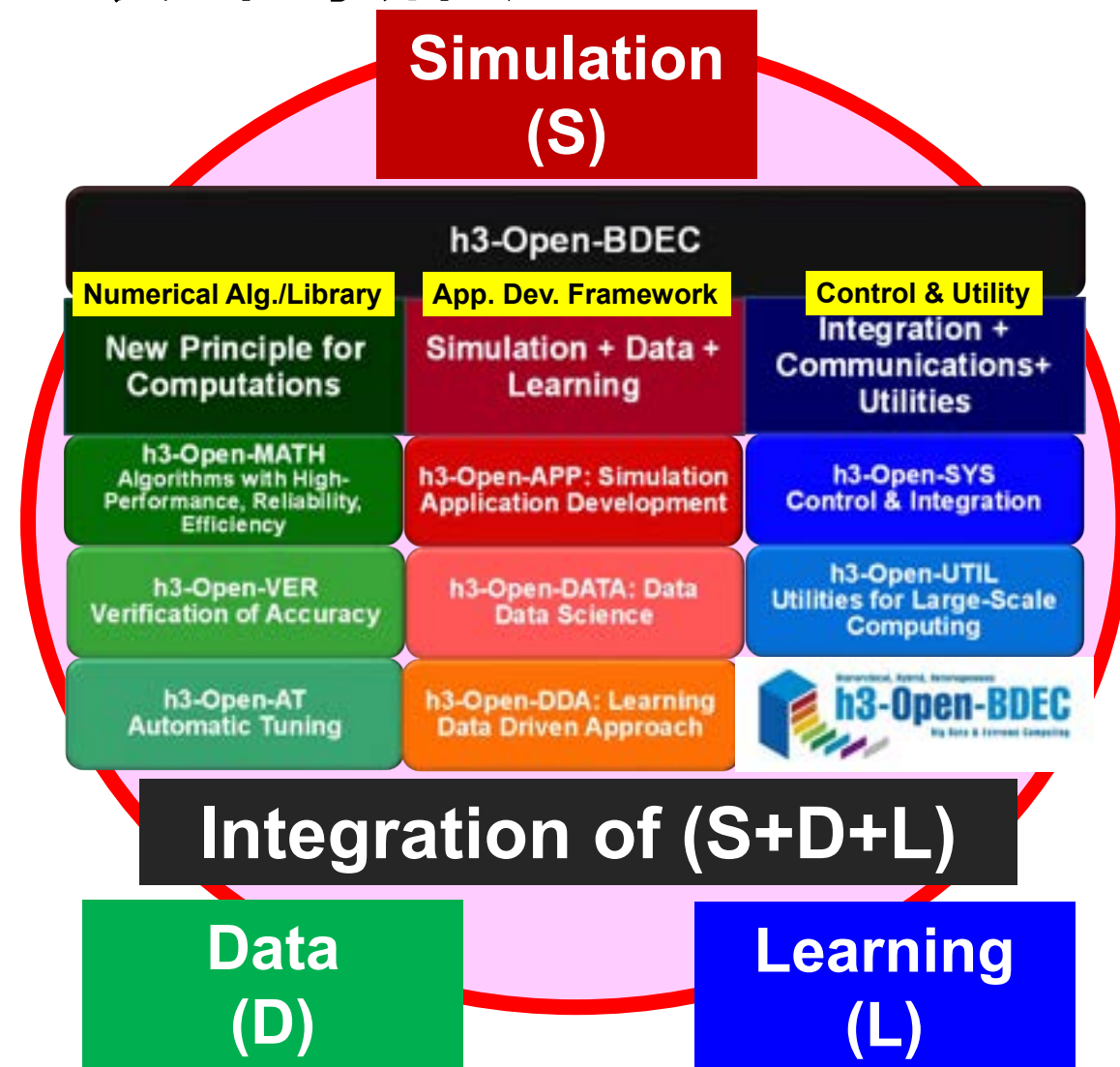


# h3-Open-BDEC

「計算＋データ＋学習」融合を実現する革新的ソフトウェア基盤  
 科研費基盤研究(S)(2019年度～23年度, 代表: 中島研吾)

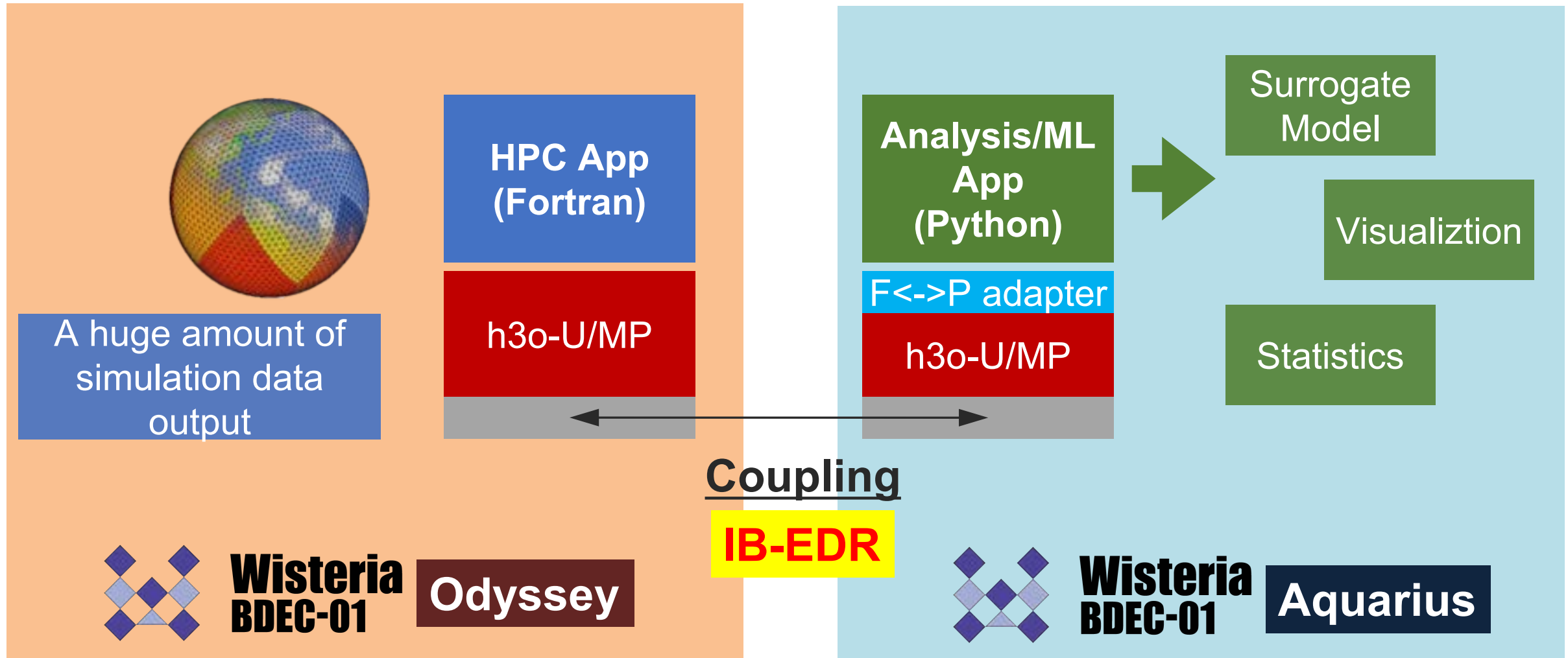
<https://h3-open-bdec.cc.u-tokyo.ac.jp/>

- ① 変動精度演算・精度保証・自動チューニングによる新計算原理に基づく革新的数値解法
- ② 階層型データ駆動アプローチ等に基づく革新的機械学習手法
- ③ ヘテロジニアス環境(e.g. Wisteria/BDEC-01)におけるソフトウェア, ユーティリティ群



# h3-Open-UTIL/MP (h3o-U/MP)

## 計算・機械学習ワークロードを連成

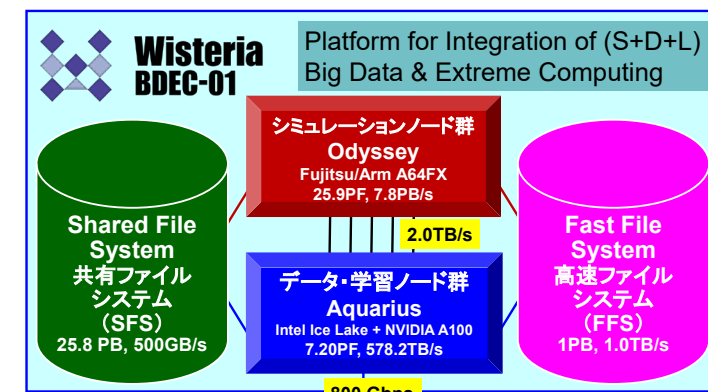
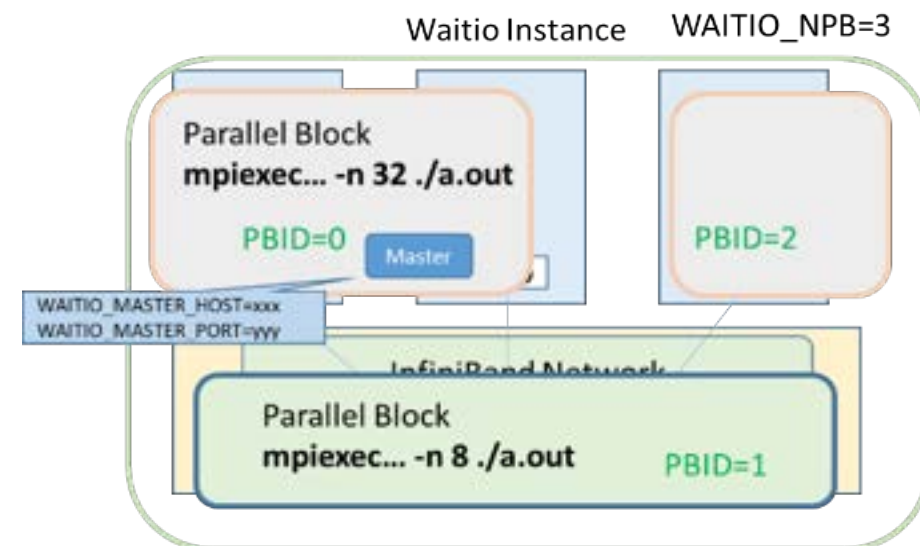


# h3-Open-SYS/WaitIO-Socket (WaitIO)

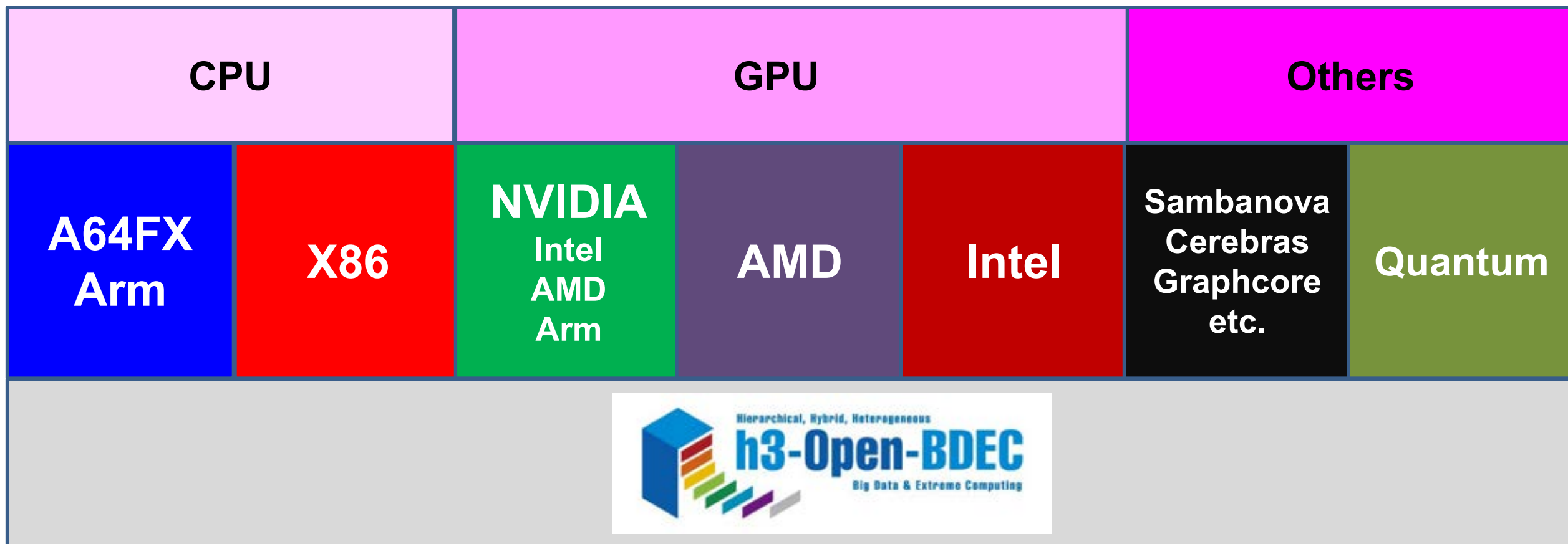
[住元他 2021]

Odyssey-Aquarius間IB-EDR(2.0TB/sec)/FFS(1.0TB/sec)経由通信を  
MPIライクなインタフェースで実現: Fortran, C/C++から呼び出し可能

WaitIO API	Description
waitio_isend	Non-Blocking Send
waitio_irecv	Non-Blocking Receive
waitio_wait	Termination of waitio_isend/irecv
waitio_init	Initialization of WaitIO
waitio_get_nprocs	Process # for each PB (Parallel Block)
waitio_create_group	Creating communication groups among PB's
waitio_create_group_wranks	
waitio_group_rank	Rank ID in the Group
waitio_group_size	Size of Each Group
waitio_pb_size	Size of the Entire PB
waitio_pb_rank	Rank ID of the Entire PB



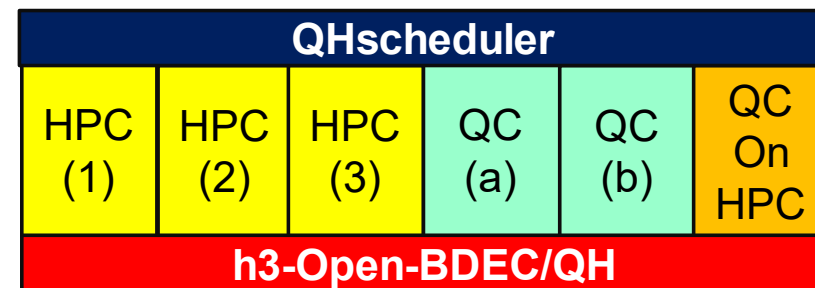
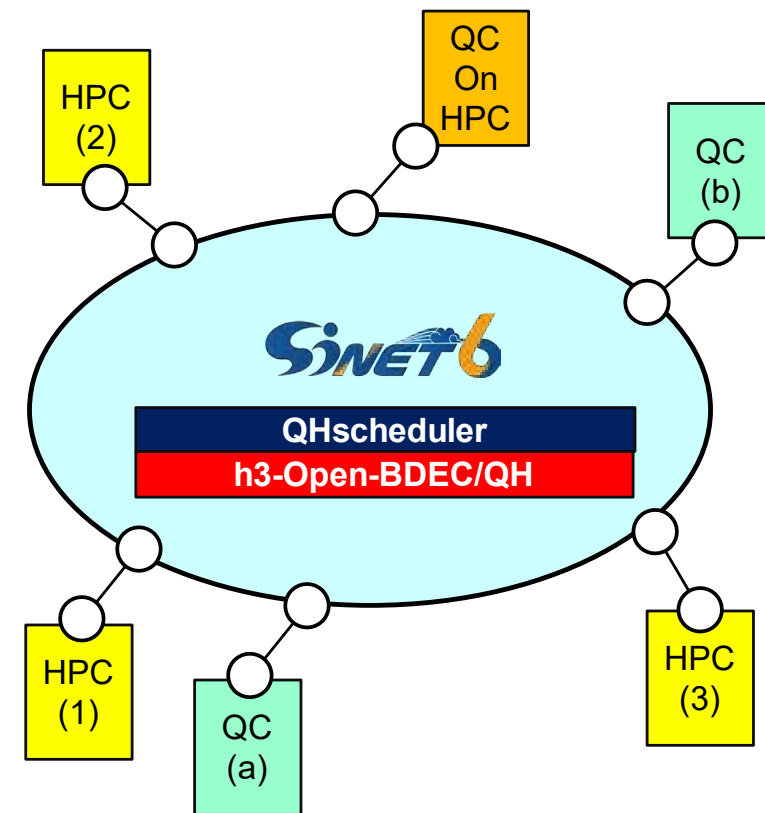
# Anything is possible with h3-Open-BDEC (WaitIO and Coupler)





# 事業項目③: 量子・スパコン連携スケジューラおよび量子・HPC連携ソフトウェアのカップリング技術の研究開発(1/2)

- A) 量子コンピュータ(QC)・スーパーコンピュータ(HPC)連携を効率的に実施するためのジョブスケジューラ(QHScheduler)の研究開発, 整備
- B) 複数の量子コンピュータ・スパコン間でアプリケーションを連携するためのソフトウェア(h3-Open-BDEC/QH)を開発
- 複数のコンポーネントを協調させ, 効率的にデータ転送等を実施するカプラー
  - 異なるアーキテクチャのシステム間の通信・データ転送を実施するライブラリ



# 事業項目③: 量子・スパコン連携スケジューラおよび量子・HPC連携ソフトウェアのカップリング技術の研究開発(2/2)

C) 量子・スパコン連携アプリケーションのデータ入出力, 通信を模擬するスケルトン型アプリケーションを整備する(HPCコード用量子API「SQC」の拡張)

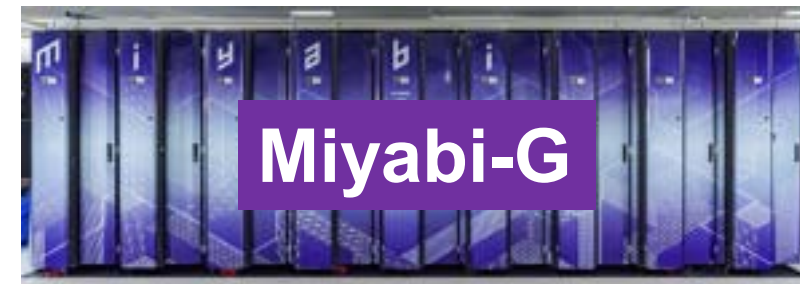
- 事業項目④と連携
- 実機(超伝導型, Ion-Trap型)と同じインタフェースを有するシミュレータを整備
- スパコン側のプログラムがC/C++及びFortranの場合に対応

## • メンバー

- 中島研吾            全体統括
- 住元真司            B) 連携ソフトウェア(h3-Open-BDEC/QH)
- 胡 曜                A) スケジューラ(QHScheduler), 本プロジェクトで雇用
- 山崎一哉            C) HPCコード用量子API「SQC」の拡張

# 全体計画と展望(1/2)

- 事業項目(①, ②)とは密に連携する
- 2025年度末まで
  - Wistereia/BDEC-01, Miyabi上での「疑似QC-HPCハイブリッド」環境
    - ソフトウェアのプロトタイプの作成
      - h3-Open-BDECの拡張
    - CUDA-Qを量子コンピュータ(QC)とみなす
  - 2025年度後半から, 「Miyabi」-「ibm\_kobe/黎明」連携に着手, 2026年度以降に「QC+複数HPC」連携の予定であった
    - 予定を前倒しして, 2025年度中に「Miyabi」-「ibm\_kobe/黎明」連携を実現
  - 2025年度は下記を並行して実施
    - 「Miyabi」-「ibm\_kobe/黎明」をとりあえずつなぐ
    - 2026年度以降の「QC+複数HPC」連携を見通した研究開発



IB-NDR (400Gbps)		
IB-NDR200 (200)		IB-HDR (200)
<b>Miyabi-G</b> NVIDIA GH200 1,120 78.2 PF, 5.07 PB/sec	<b>Miyabi-C</b> Intel Xeon Max (HBM2e) 2 x 190 1.3 PF, 608 TB/sec	<b>File System</b> DDN EXA Scaler 11.3 PB, 1.0TB/sec All Flash Storage

# Variational Quantum Eigensolver (VQE)

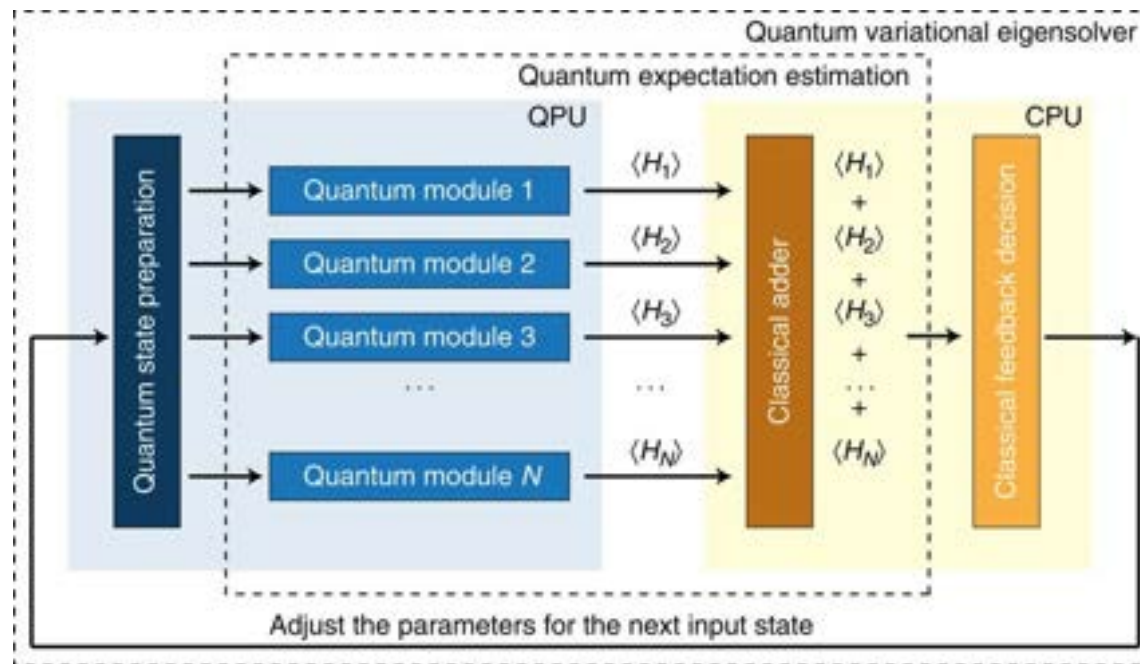
## Ground State (Minimum Energy) = Minimum Eigenvalue

- Compute the minimum eigenvalue and its eigenvector for a matrix  $H = \sum_i H_i = \sum_i a_i P_i$   
 $P_i$ : Pauli matrix (sparse matrix)

**Miyabi-G**



CUDA-Q: QPU-agnostic platform for accelerated quantum supercomputing



Expectation value  $\langle H \rangle_{\psi(\theta)}$

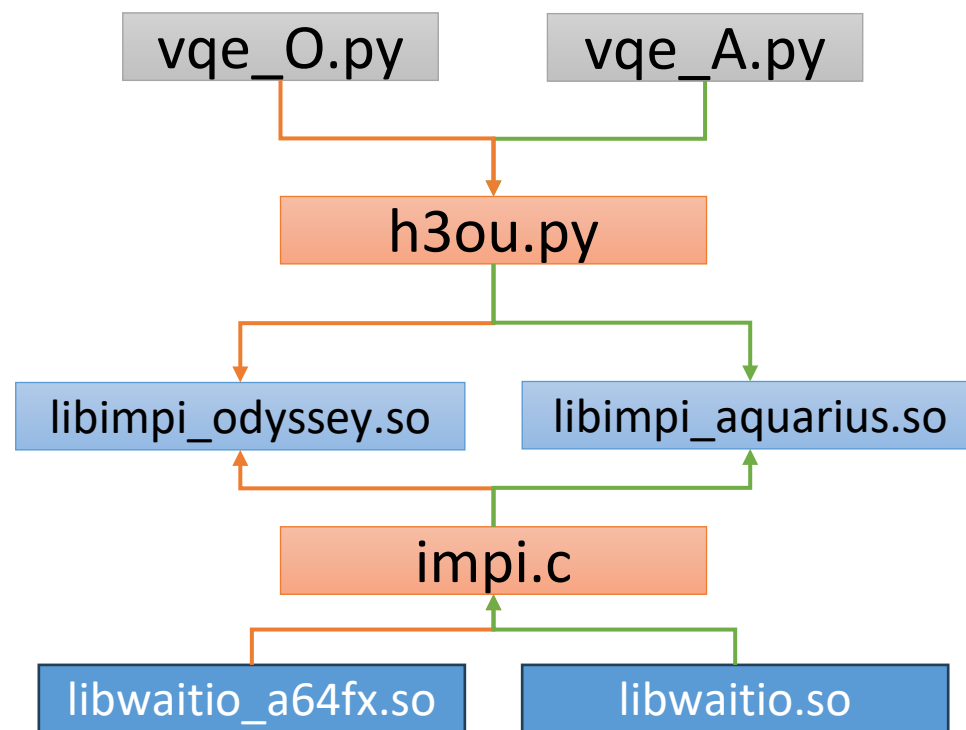
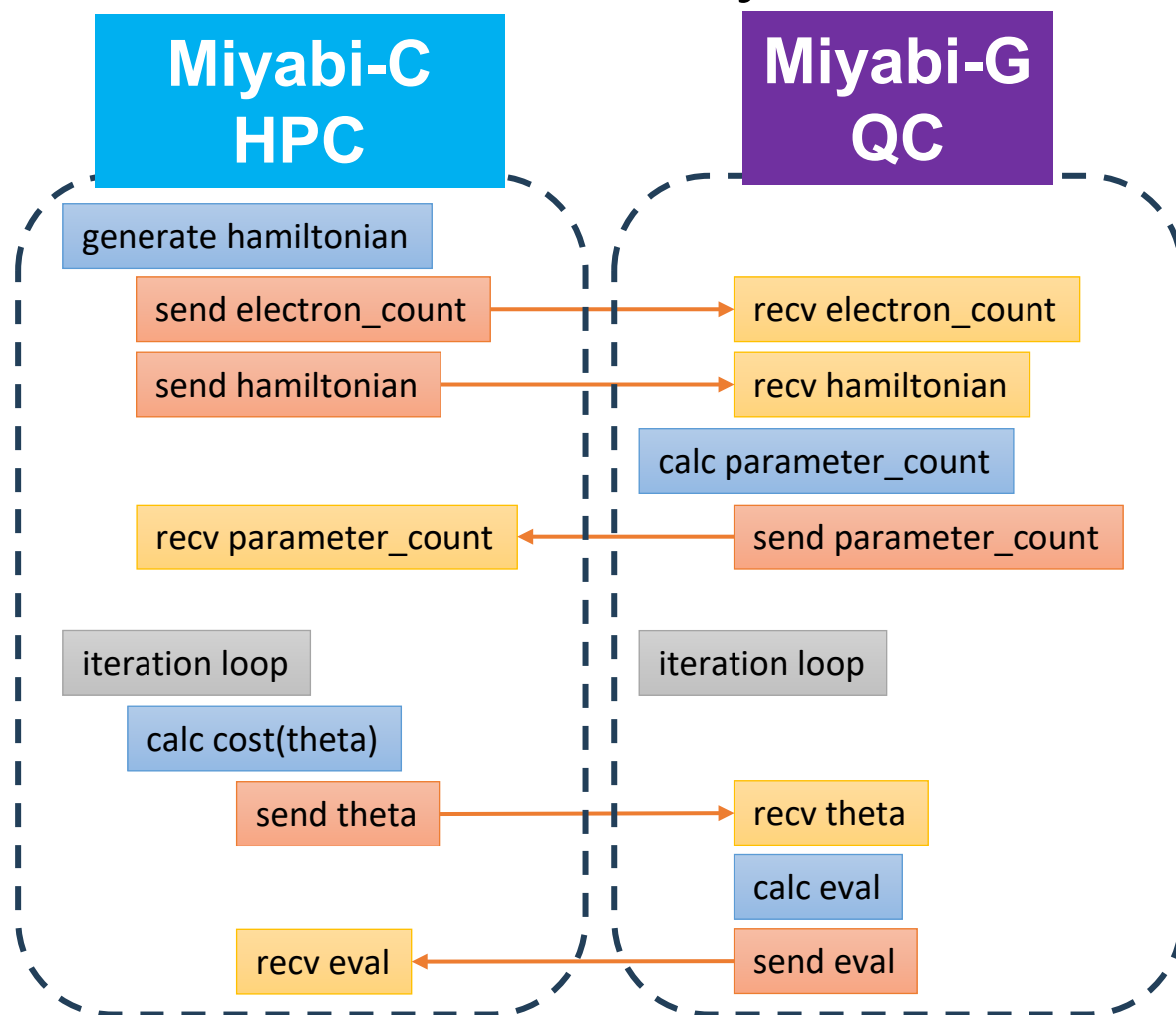
**Miyabi-C**



SciPy: scipy.optimize for adjust the parameters

# QC-HPC Hybrid on Miyabi

- Miyabi-C: HPC + Miyabi-G: QC
- Codes are written in Python, WaitIO with Python Interface





# 『CUDA-Q+Miyabi』で 『量子・HPCハイブリッド』を体験してみよう！



- 2025年5月26日 : Miyabi (Miyabi-G, Miyabi-C)
  - 疑似「量子・HPCハイブリッド環境」でVQE (Variational Quantum Eigensolver) を体験
  - 12月22日に第2回を実施

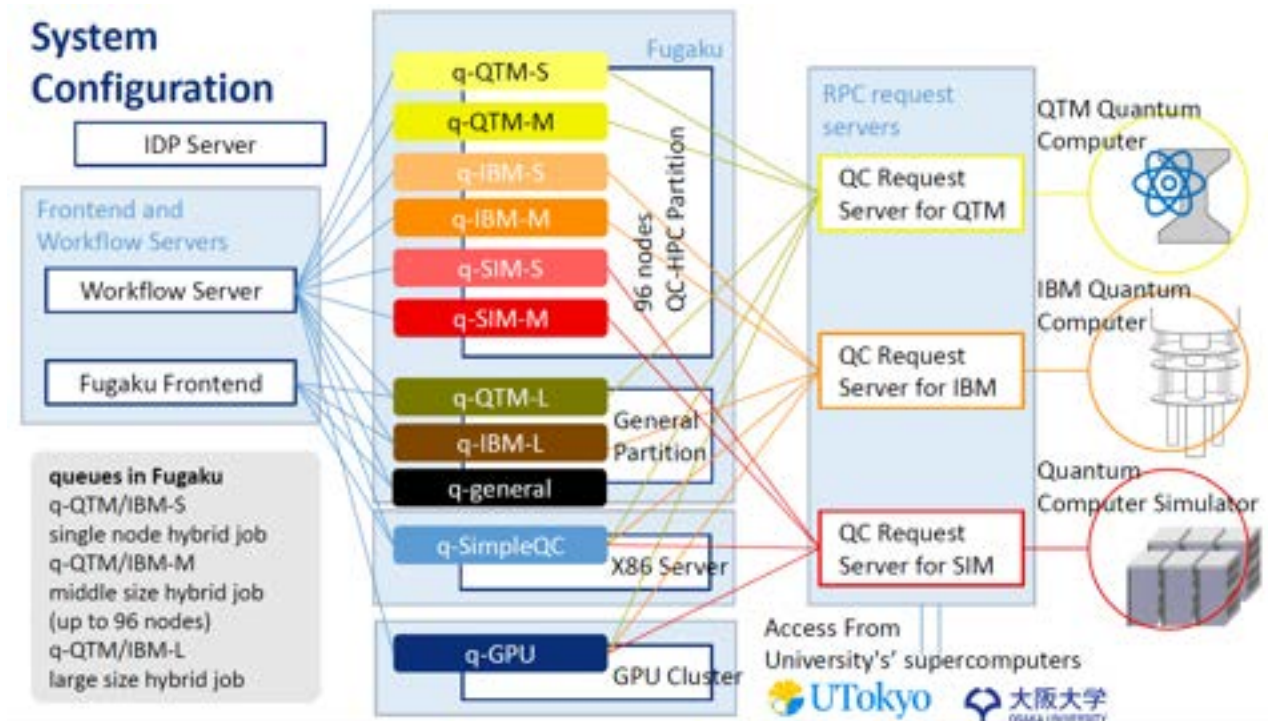
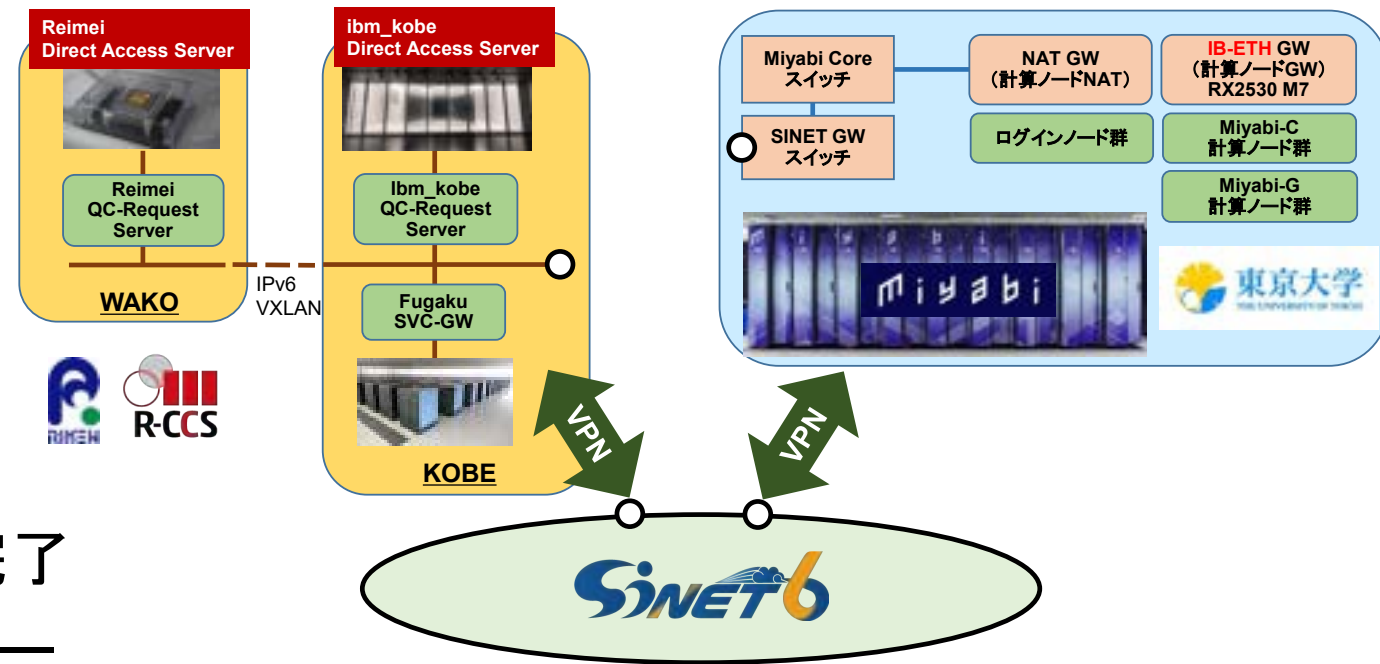


10:00-10:10	挨拶＋趣旨背景
10:10-10:30	NVIDIA Quantumの紹介(座学)
10:30 - 12:00	CUDA-Q入門(座学＋演習) ログイン, すごく簡単な例
13:00 - 14:30	発展的な利用例(座学＋演習) 入門の続き, VQEの話
15:00 - 17:00	量子・HPCハイブリッド環境(座学＋演習)
17:00 - 17:30	Miyabi見学



# Kobe-Miyabi連携

- R-CCS – Miyabi間 VPN接続
  - SiNET L2VPN接続完了
- 富岳-QC連携ソフトウェア移植
  - QCセマフォサーバへの接続確認完了
  - Miyabi ジョブスケジューラへのキュー設定・拡張モジュール組込み完了
  - QC Request Server経由のジョブ実行移植作業実施中
- 2025年度中にQC-Miyabi連携確認, テスト実行
- 2026年度
  - マルチHPCサイト QC-HPC Hybrid対応のスケジューラ設計



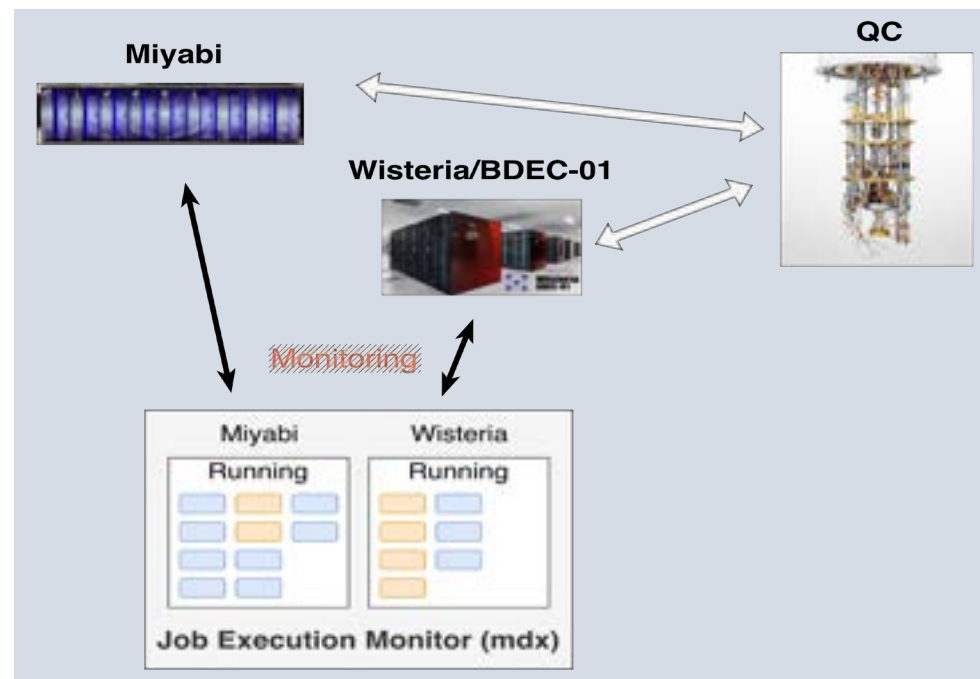
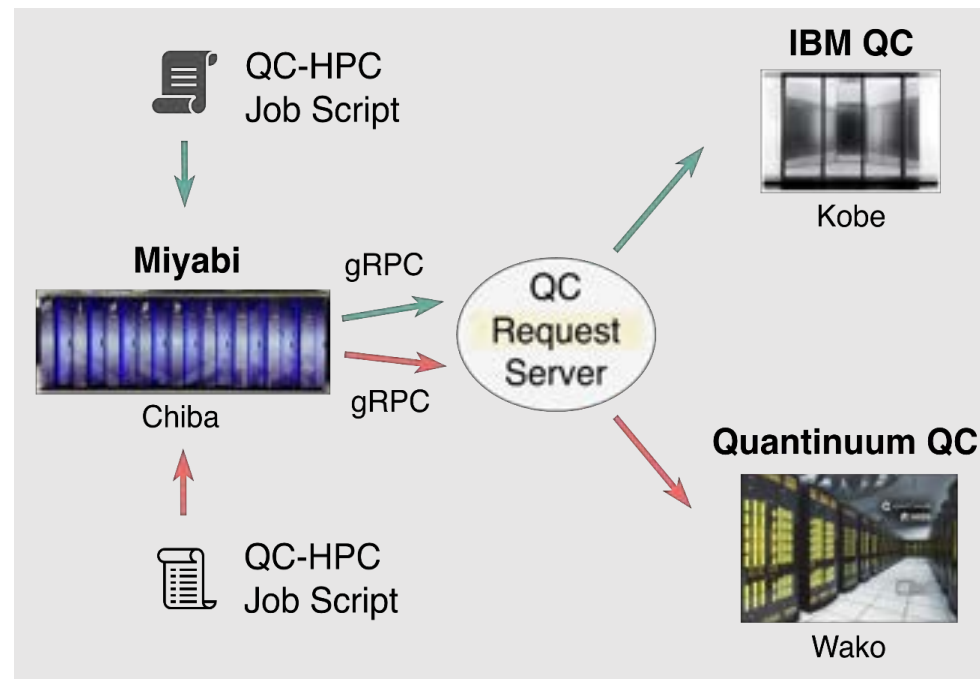
# 項目A): スケジューラ

## • (A-1) QC-Miyabi連携

- MiyabiからQC-HPCハイブリッドジョブを実行
  - スパコン: 専用Queueを想定
- ハイブリッドジョブのHPC部分をMiyabi, QC部分をIBM (ibm-kobe) で実行できることを制御した(PREFECT, Cloud経由)

## • (A-2) QC-複数HPC連携向け取り組み

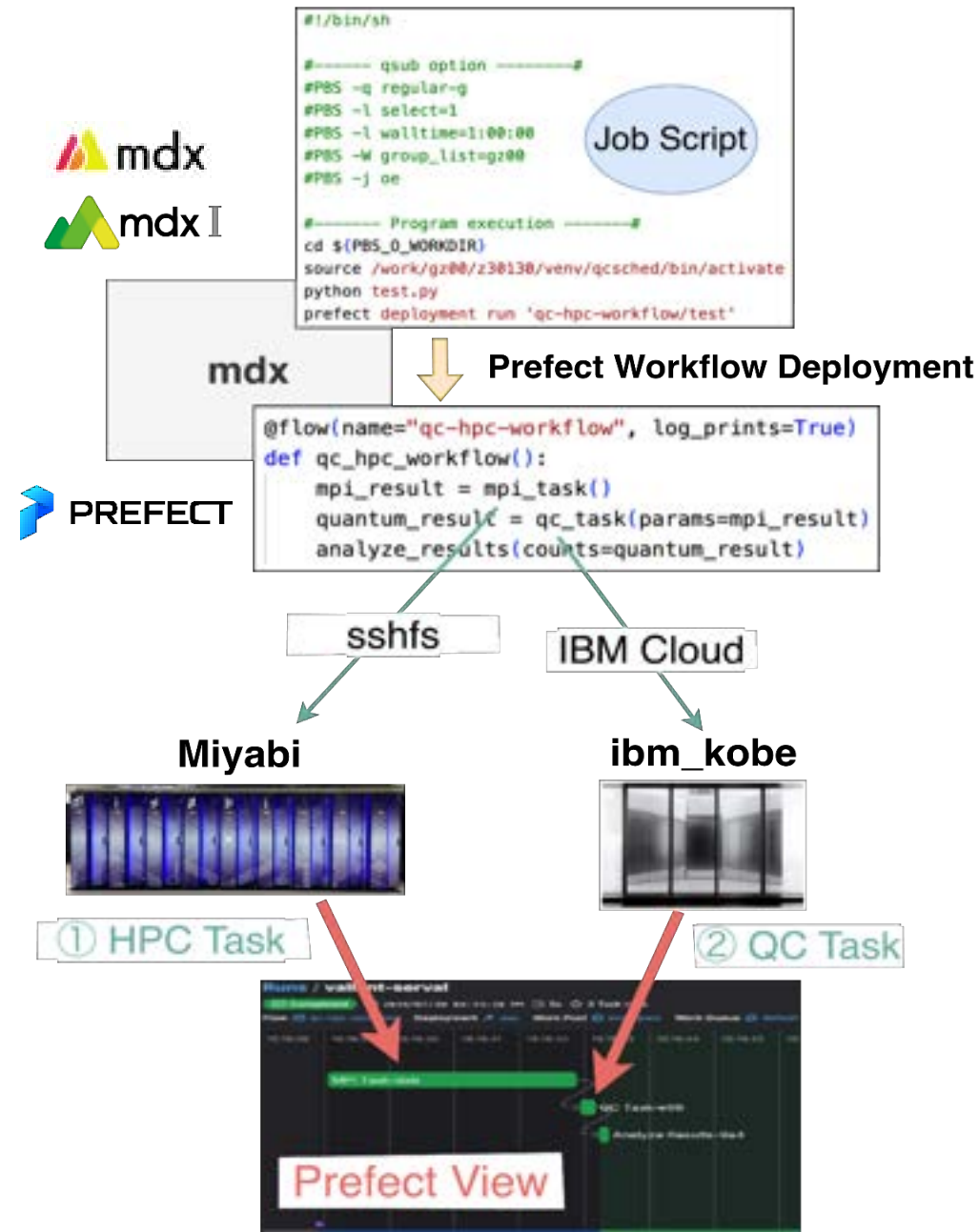
- スパコン側のジョブ実行状況のモニタリングをmdx上で実施, 実行開始予定時間を予測
  - スパコン: 一般Queue
- MiyabiとWisteriaで実行中・実行待ちジョブ情報を取得, 解析, スケジュールマップ作成
  - 投入ジョブの指定ノード数と実行時間制限値などに基づき, 将来の実行開始予定時間を予測する機能を実装している





# 項目A-1): スケジューラ: QC-Miyabi連携

- mdxからPrefectを利用
  - mdxを経由せずにPrefect Cloudを利用して、QCとHPCのWorkflowを制御可能
  - QCへの接続はCloud経由(実際は使われない)
- HPC (Miyabi) で得られた計算結果をQC (ibm\_kobe) へ渡し, 後続の量子計算を実行
  - HPC計算で求めたパラメータ(phi、theta)を量子回路に適用し、量子状態を操作して測定することで古典値を得る一連の処理を実現
- QC計算部分はDirect Access方式に切り替えた後も制御が可能と考えられる



# 項目A-2): スケジューラ: モニタリング

## (例) スパコンのジョブ実行状況のモニタリング

- 11-22 23:02:24時点でMiyabi-Gで取得したジョブ情報

JOB_ID	JOB_NAME	STATUS	PROJECT	QUEUE	START_DATE	ELAPSE	ELAPSE_LIM	TOKEN	NODE	RIS	COMMENT
412264	*****	HELD	*****	small-g	---	---	48:00:00	*****	1	-	Not Running: PBS Error: job held
412269	*****	HELD	*****	small-g	---	---	48:00:00	*****	1	-	Not Running: PBS Error: job held
461179	*****	HELD	*****	lecture-c	---	---	80:15:00	*****	1	-	Not Running: PBS Error: job held
461171	*****	HELD	*****	lecture-c	---	---	80:15:00	*****	1	-	Not Running: PBS Error: job held
542564	*****	HELD	*****	debug-g	---	---	80:30:00	*****	1	-	Not Running: PBS Error: job held
831384	*****	QUEUED	*****	small-g	---	---	48:00:00	*****	1	-	Not Running: Insufficient amount
831386	*****	QUEUED	*****	small-g	---	---	48:00:00	*****	1	-	Not Running: Insufficient amount
867377	*****	HELD	*****	small-g	---	---	24:00:00	*****	1	-	Not Running: PBS Error: job held
867481	*****	HELD	*****	small-g	---	---	24:00:00	*****	1	-	Not Running: PBS Error: job held
867549	*****	HELD	*****	small-g	---	---	24:00:00	*****	1	-	Not Running: PBS Error: job held
900993	*****	HELD	*****	miyabitest-g	---	---	80:18:01	*****	1	-	Not Running: PBS Error: job held
931649	*****	HELD	*****	small-c	11/22 20:43:34	---	48:00:00	*****	1	-	Not Running: PBS Error: Token LI
932155	*****	HELD	*****	small-c	11/22 01:38:54	---	48:00:00	*****	1	-	Not Running: PBS Error: Token LI
949533	*****	HELD	*****	small-g	11/22 18:43:26	---	48:00:00	*****	1	-	Not Running: PBS Error: job held
1302100	*****	QUEUED	*****	small-g	---	---	48:00:00	*****	1	-	Not Running: would exceed group
1302109	*****	QUEUED	*****	small-g	11/22 22:00:00	---	48:00:00	*****	1	-	Not Running: would exceed group

- 11-22 22:50:44時点でAquariusで取得したジョブ情報

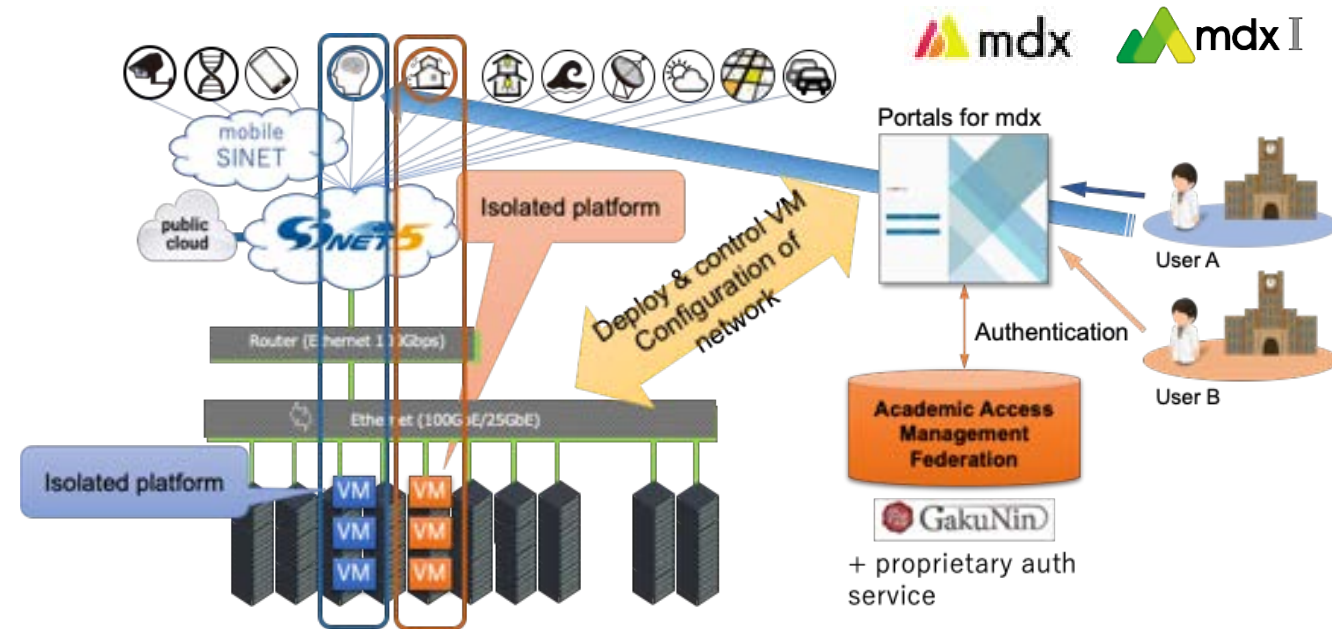
whteria-jobinfo.txt																						Open with Visual Studio Code	
JOB_ID	JOB_NAME	HD	ST	GROUP	START_DATE	ELAPSE_TOT	ELAPSE_LIM	MODE_RESOURCE	NODE	CORE	V_NUM	V_PUL	E_PUL	MEM	LIST	EC	PC	SM	PRI	ACCEPT	NSC_GRP	REASON	
7092344	MLA	ST	RM	052480	002	11/22 21:54:40	2100:00:00	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
7094418	sub_script	ST	RM	024983	0250157	11/21 00:00:14	0000:00:03	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
7096371	chr2053	ST	RM	130000	002	11/22 20:42:43	0102:00:05	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
8014444	train_vox	RM	RM	010004	010	11/21 13:35:48	0003:23:50	0040:00:00	1	18	10400	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015099	sub_script	ST	RM	024983	0250157	11/21 10:30:10	0000:24:05	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015099	sub_script	ST	RM	024983	0250157	11/21 10:30:10	0000:22:52	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015449	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 07:34:15	0043:25:45	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015451	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 07:42:00	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015452	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 07:42:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015453	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 07:44:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015454	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 07:46:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015455	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 07:48:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015456	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 07:50:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015457	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 07:52:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015458	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 07:54:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015459	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 07:56:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015460	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 07:58:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015461	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:00:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015462	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:02:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015463	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:04:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015464	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:06:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015465	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:08:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015466	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:10:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015467	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:12:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015468	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:14:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015469	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:16:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015470	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:18:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015471	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:20:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015472	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:22:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015473	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:24:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015474	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:26:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015475	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:28:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015476	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:30:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015477	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:32:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015478	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:34:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015479	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:36:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015480	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:38:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015481	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:40:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015482	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:42:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015483	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:44:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015484	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:46:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015485	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:48:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015486	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:50:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015487	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:52:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015488	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:54:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015489	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:56:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015490	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 08:58:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015491	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 09:00:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015492	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 09:02:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015493	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 09:04:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015494	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 09:06:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015495	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 09:08:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015496	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 09:10:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015497	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 09:12:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015498	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 09:14:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015499	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 09:16:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	
8015500	sub_script	RM	RM	010004	010	11/21 09:18:15	0043:00:00	0040:00:00	1	9	37344	ML	A_MPL	SHAME	---	---	---	---	---	---	---	---	



# 項目A): スケジューラ: 2026年度

## • (A-1) QC-Miyabi連携

- 富岳-QC連携ソフトウェア移植完了
- mdxからPrefect Workflowを用いてQC-HPCハイブリッドジョブを実行する
- gRPCインターフェースに加え、ブラウザや外部システムから容易に利用できる, RESTfulに近いHTTP/JSONインターフェースを提供する



## • (A-2) QC-複数HPC連携向け取り組み(モニタリング)

- mdxにおいてHPCジョブ情報を定期的 to 取得
- 取得したジョブ情報に基づき、ジョブの優先度関係を考慮した実行開始予定時間を予測
  - セマフォサーバと連携し、QC側のジョブ実行状況をモニタリング

# 項目B): 連携ソフトウェア

- QC-HPC間の通信とデータ転送をオンラインおよびリアルタイムで効率的に実装および統合

- (B-1) WaitIO/Router

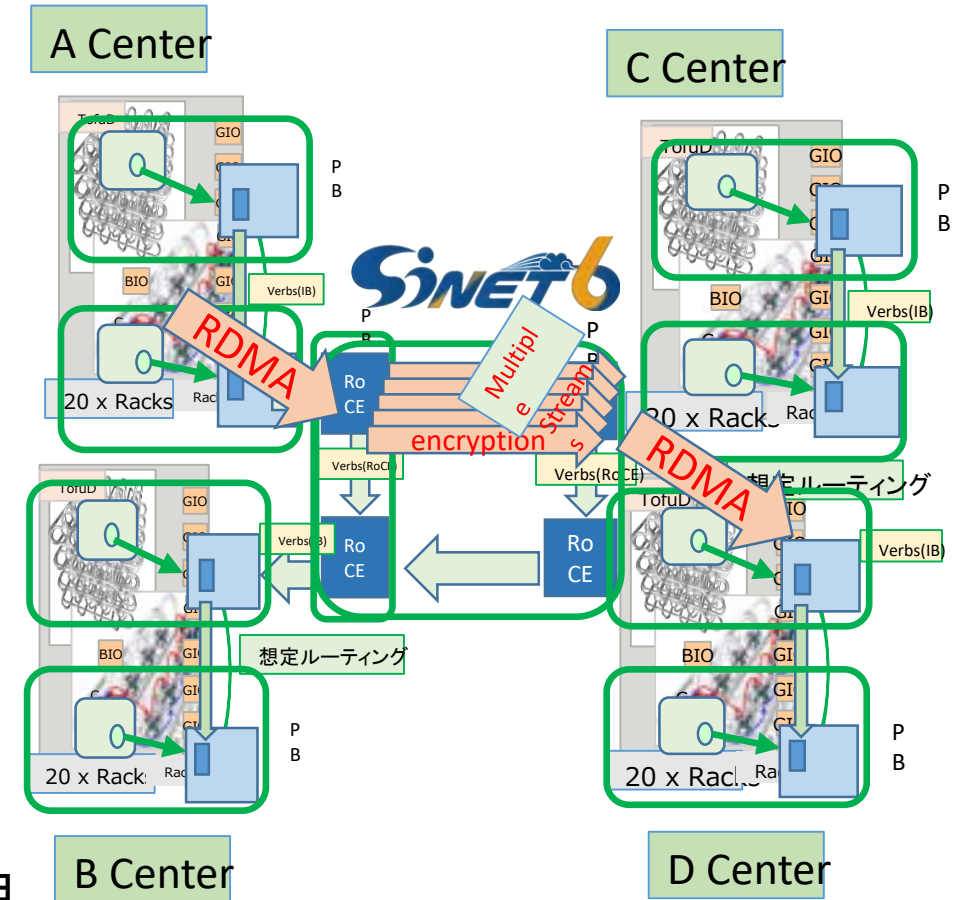
- 課題:

- ソケット通信(WaitIO-Socket)の高性能化
    - 長距離センター間通信高速化とセキュリティ強化

- 設計と実装:

- センター内: RDMA とゼロコピールーティングを使用した高性能通信
      - WaitIO-Verbs、WaitIO-Tofu: RDMA通信
      - WaitIO-Router: ゼロコピー ルーティング対応
    - センター間: 単一ストリームを複数ストリーム変換
      - パフォーマンス: RDMA(RoCE) と複数ソケットストリーム + 圧縮活用で高速化
      - セキュリティ強化: 暗号化とスクランブル パケット使用

- (B-2) QC-HPCカップリング

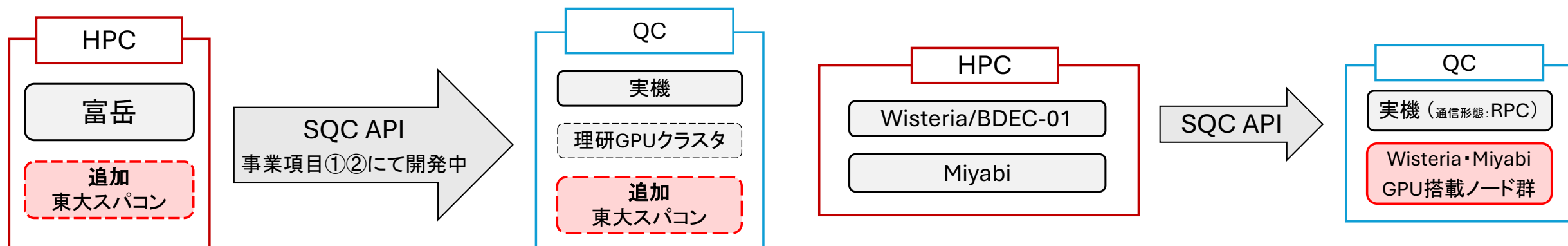


# 項目B-1): 連携ソフトウェア: WaitIO/Router

- 2025年度
  - Odyssey上の2つのジョブ間, Odyssey-Aquariusの独立した2つのジョブ間でのWaitIO-Routerによるジョブ間通信を達成
    - Full RDMA通信により, 対WaitIO-Socketで1/3遅延, 19倍の通信バンド幅向上達成
  - センター間通信WaitIO-Socket/MultiStream設計
  - 暗号化と圧縮を統合した実装アーキテクチャ検討実施中
- 2026年度
  - WaitIO-Router:
    - RDMAによるアプリケーション高速化の評価 on Wisteria/BDEC-01, Miyabi(2026)
    - Miyabi-Wisteria/BDEC-01(2026-)
  - WaitIO-Socket/MultiStream:
    - プロトタイプ実装と通信性能評価 on Miyabi, Miyabi-Wisteria/BDEC-01間
    - 柔軟な高性能中継アーキテクチャ設計
      - RDMA中継Router増強 on Miyabi(2026)
      - 富岳-Miyabi連携(2026-)

# 項目C): HPCコード用量子API「SQC」の拡張(1/2)

- SQC(事業項目①②)を拡張, 東大スパコンからQCエミュレータ呼び出し
- 2025年度
  - 東大スパコンで, HPC・QCエミュレーションを実行するSQCバックエンドを作成
    - GPU搭載ノード群をQCエミュレータとして利用, GPU上での量子計算はQiskit Aerを使用
  - 既存のライブラリWaitIOを通信に利用して開発コストを削減
    - QCエミュレータ側でRPCサーバーを構築する必要がない
    - WaitIOは異種システムを結合可能, Intel CPU上のHPCコードとGH200上のQCエミュレータも容易に連携可能



# 項目C): HPCコード用量子API「SQC」の拡張(2/2)

- 2026年度以降
  - SQCのバージョンアップに合わせて, 東大スパコン用WaitIOバックエンドも更新
  - 複数QC(エミュレータ)の同時利用について検討を進める
    - プロトタイプを作成済み, SQC本流への反映法を検討中
  - Fortran版APIの整備
  - WaitIO/Routerによるセンター間通信が実現後は, SQCのWaitIOバックエンドがセンターを跨いで利用可能になると想定される
    - HPC側・QCエミュレータ側がそれぞれ世界のどこで流れていても, 同時にジョブが流れていてWaitIOで接続できれば、WaitIOバックエンドを利用可能



# 全体計画と展望(2/2)

- 2026年度以降
  - 複数QC, 複数HPCの連携可能
    - 複数QC=1-リアルQC+シミュレータ
- その他
  - HPCI, JHPCN(学際大規模情報基盤共同利用共同研究拠点)等, 全国のスパコンの共同利用の枠組みでの利用
    - 2027年度利用開始を目指して制度整備
  - 2026年度はQII(量子イノベーションイニシアティブ協議会)ユーザー向けに, ibm\_kobe-Miyabi連携サービスを検討中
    - QIIが運用するibm\_kawasaki(IBM Heron, 156 Qbit)とMiyabiは連携済み, 2025年12月中には試験的サービス開始予定

