

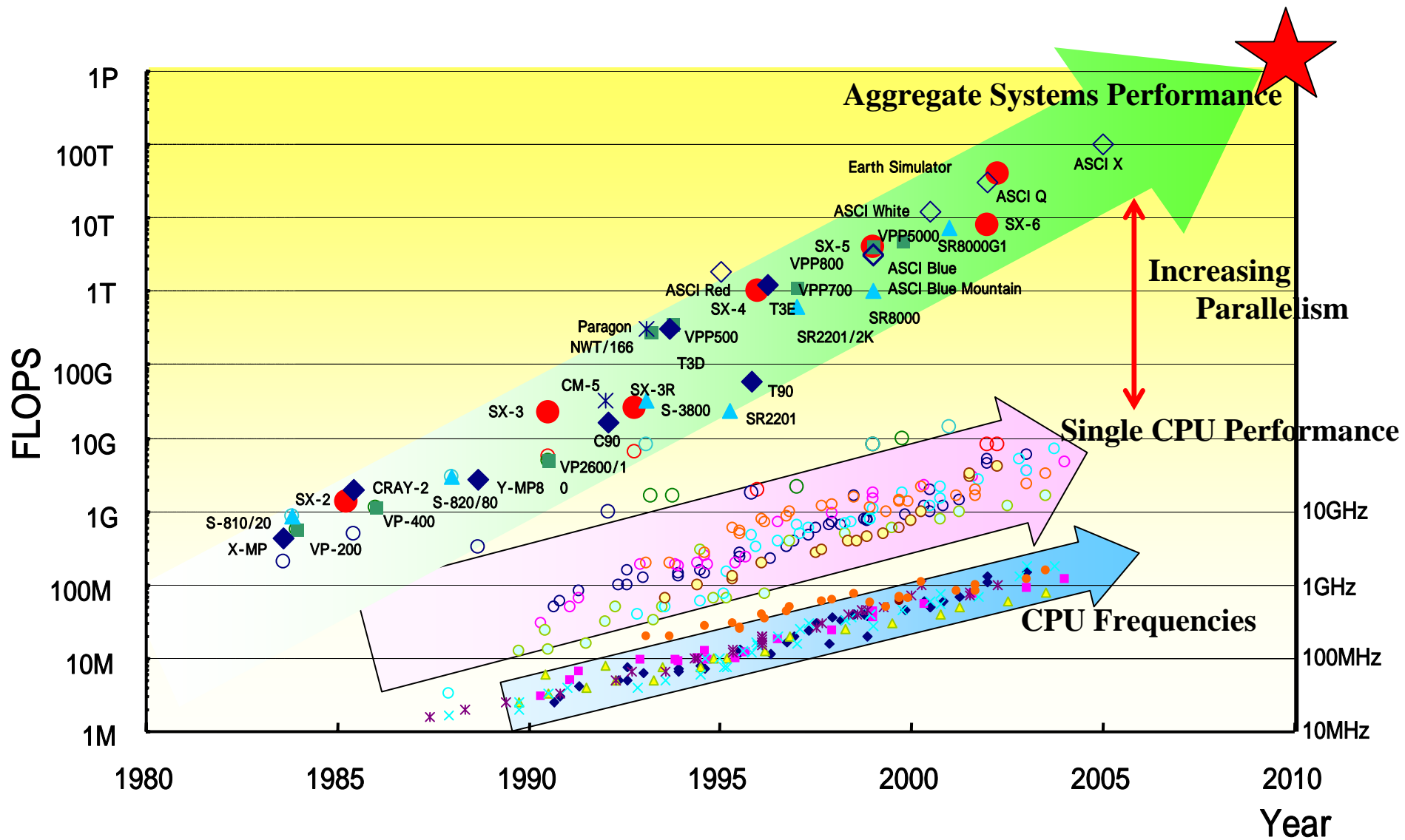
**将来(1ペタフロップス超・2010年代前半頃を想定)の
超高速計算機に必要な要素技術の研究開発について**

平成16年8月

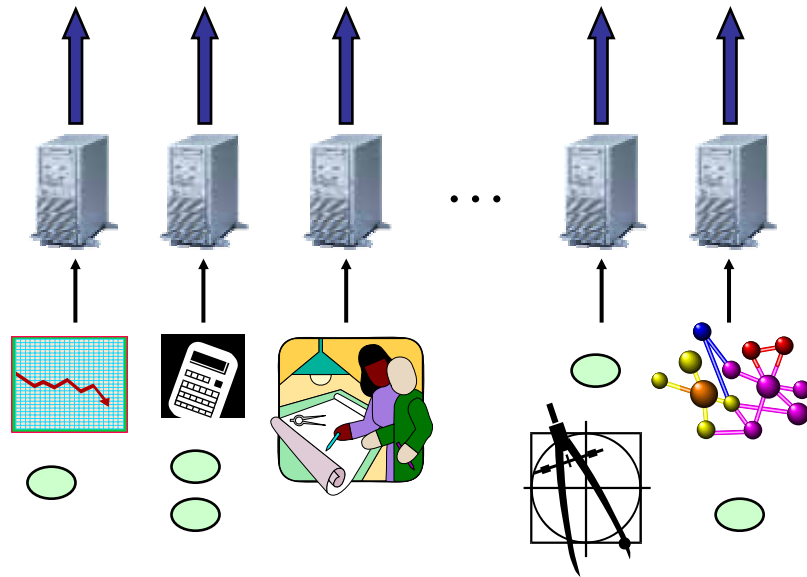
日本電気株式会社

1. 将来の超高速計算機システム について

スーパーコンピュータの歴史



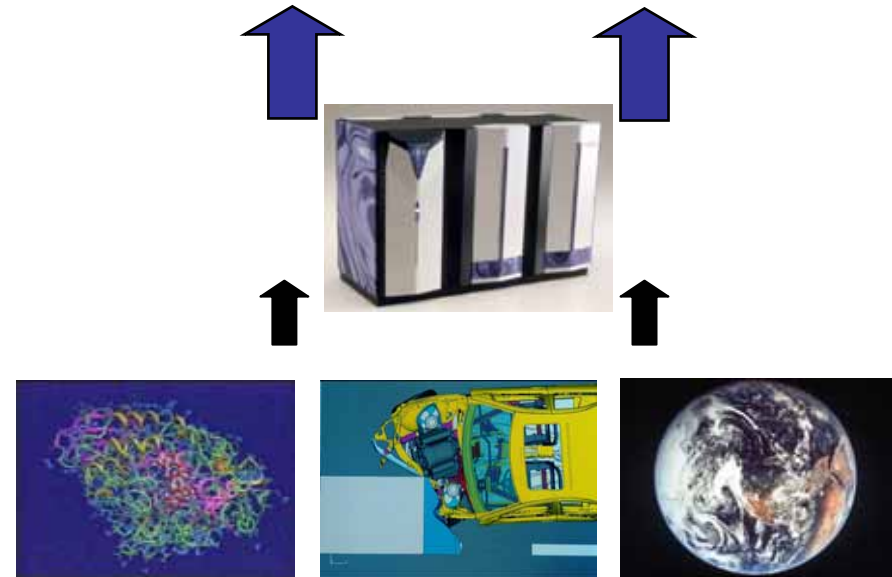
Capacity Computing と Capability Computing



PC Cluster / Blade Server

Capacity Computing

- ・Goals: ワークロードとスループット
単一ジョブの実行性能は二次的
- ・多数の小規模問題
- ・マイクロプロセッサベースの並列機やクラスタ

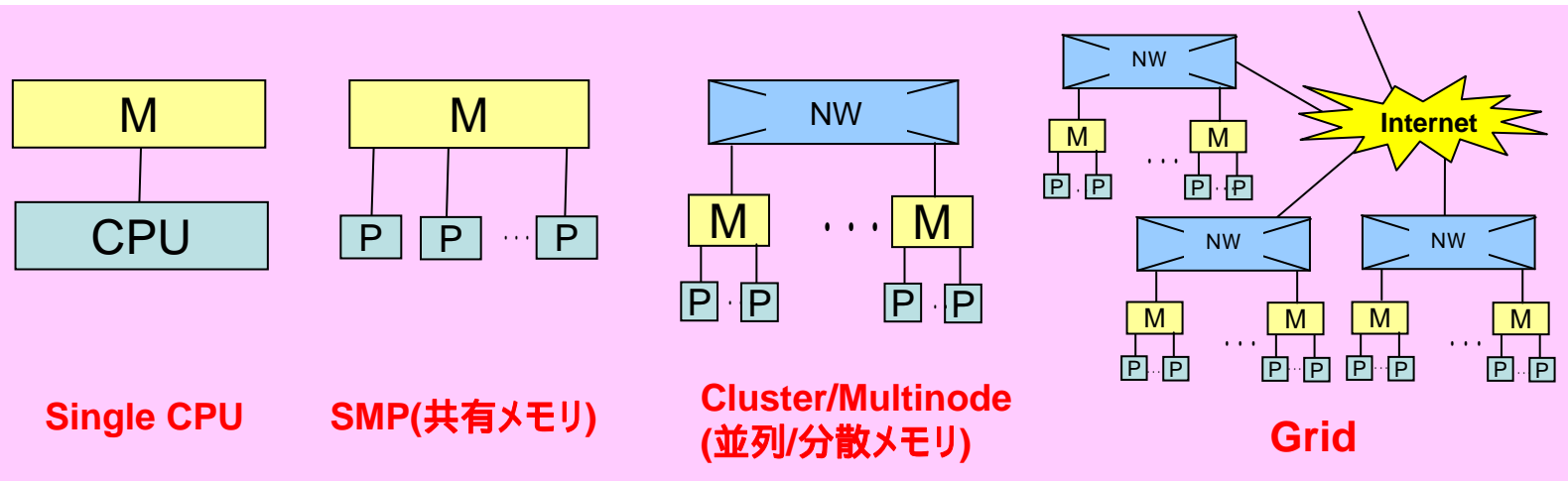


Vector / SX

Capability Computing

- ・Goals: 単一ジョブレベルでの実行性能
高速化
- ・大規模な重要問題 – Grand Challenge
- ・強力なプロセッサと高バンド幅のネットワーク

システム構成とUser View



OS Programming Model	Single OS 逐次/ベクトル	SMP OS 自動並列/Open MP	Cluster OS (SSI) MPI/HPF	Gridミドル Grid/MPI	
運用環境	Capability Computing	←————→			Capacity Computing
Programming for Capability Computing		←————→			
運用管理		←————→			
		易		難	
		易		難	

将来のHPCシステム:考慮すべき点

・Capability Computing : Grand Challenge Problems

・応用分野:

汎用科学技術

ミッション志向
(ナノ,環境,エネルギー,バイオ,...)

特定アプリ
(BLAST,分子動力学,多体問題,...)

・アーキテクチャ 汎用 ← → 専用

・ソフトウェア互換性・維持:

- OS(運用・管理,Unix/Linux/Win,...) or New OS?
- プログラミングモデル(Fortran/C,MPI/HPF,...) or New?
- アプリケーション/ライブラリ/ツール

・システム:

- システム諸元: 実行性能とメモリ容量, データ管理(ファイル容量・スループットなど)
- 信頼性・保守性
- 設置性(消費電力,床面積,重量,冷却条件,...)

Capability Computing ~ 実効性能向上を目指して ~

重要な技術課題

• アムダールの法則

実効性能向上のためには単一CPUの性能が大であることが重要



最大性能の20%の処理性能を出すには、

- 10GFのCPU x 100台の場合 → 96%の並列度
- 1GFのCPU x 1000台の場合 → 99.6%の並列度が必要。

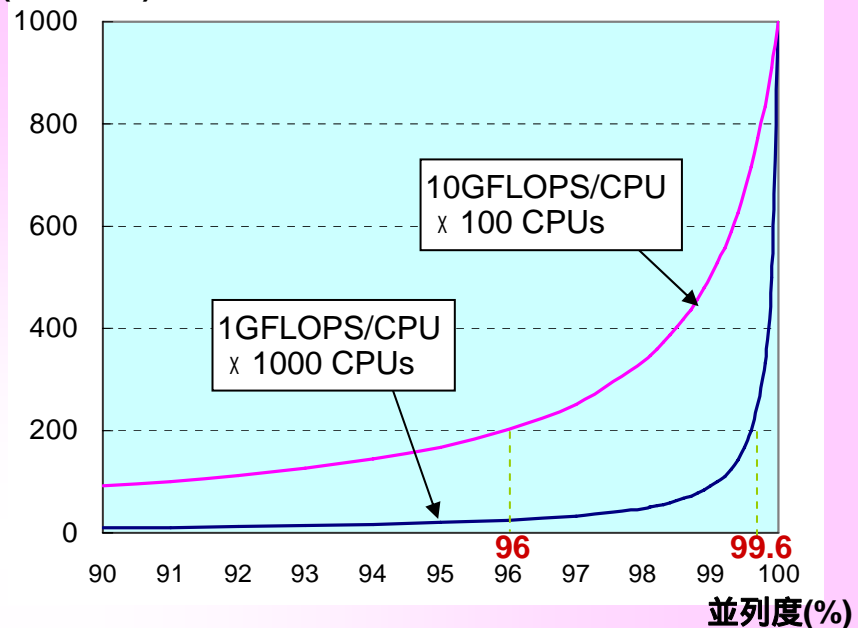
• CPU性能の向上

- デバイス技術
- メモリ性能 (バンド幅)

• 並列処理性能の向上

- 超高速CPUによる高スケーラビリティ・高効率
- 小規模並列 : 高バンド幅共有メモリ
- 大規模並列 : 高性能ノード間通信 (MPI)
同期オーバヘッド短縮 (高速同期機構)

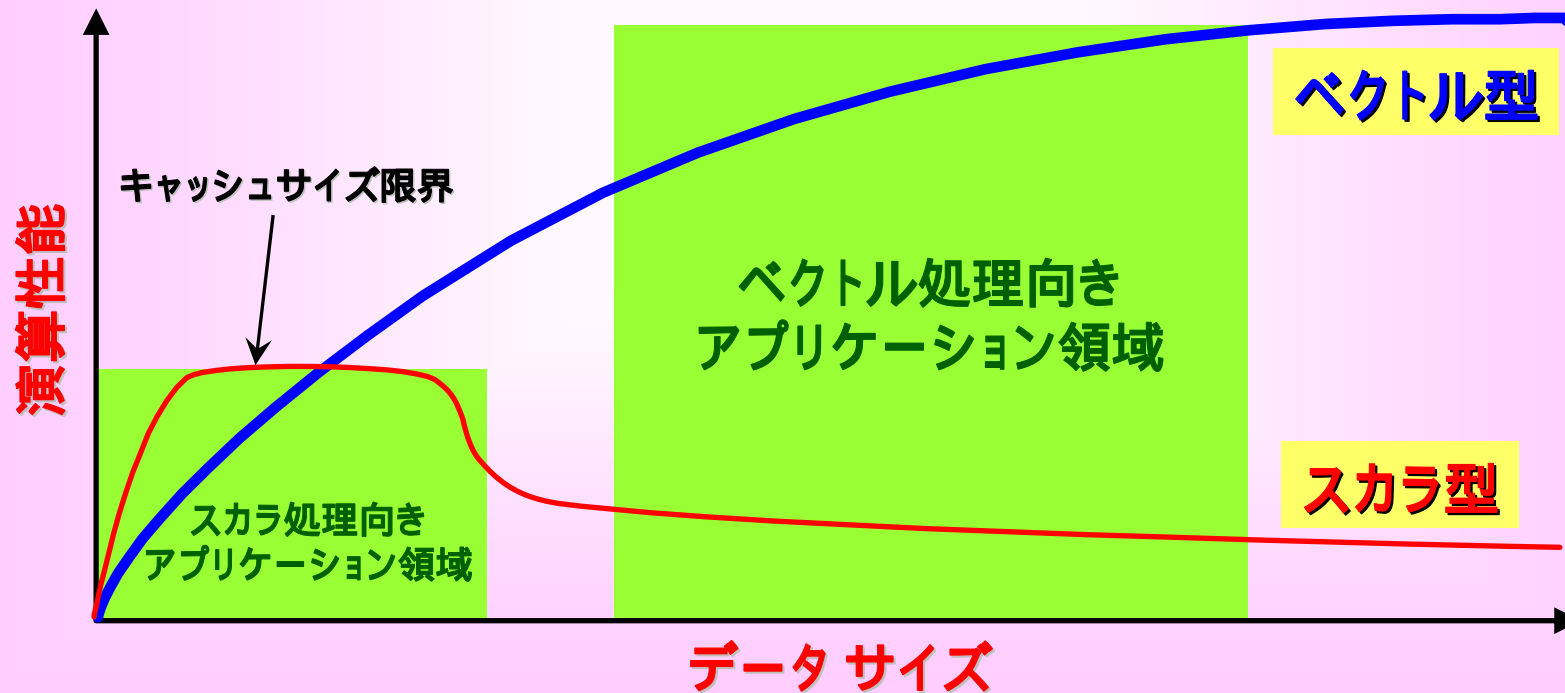
性能(GFLOPS)



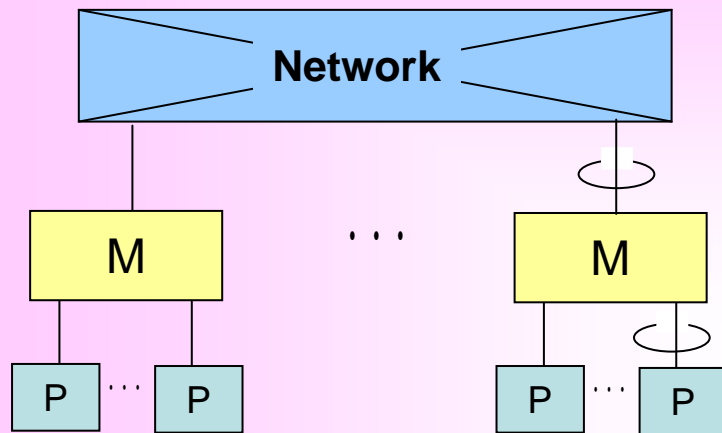
ベクトル型 / スカラ型

ベクトル型はメモリから直接大規模データをベクトル演算器に供給
スカラ型は必ずキャッシュメモリを経由（MPUの構造）、
かつメモリからのデータ供給能力が低い

→スカラ型の性能はキャッシュメモリに依存し、
キャッシュ容量をこえる演算で極端に実効性能が低下



実効性能向上の為の主要素 (Well Balanced System)



ハードウェア要素技術

→ 高速スイッチ: X-bar?

→ 高バンド幅・低レイテンシー: 光多重?

→ 高速RAM

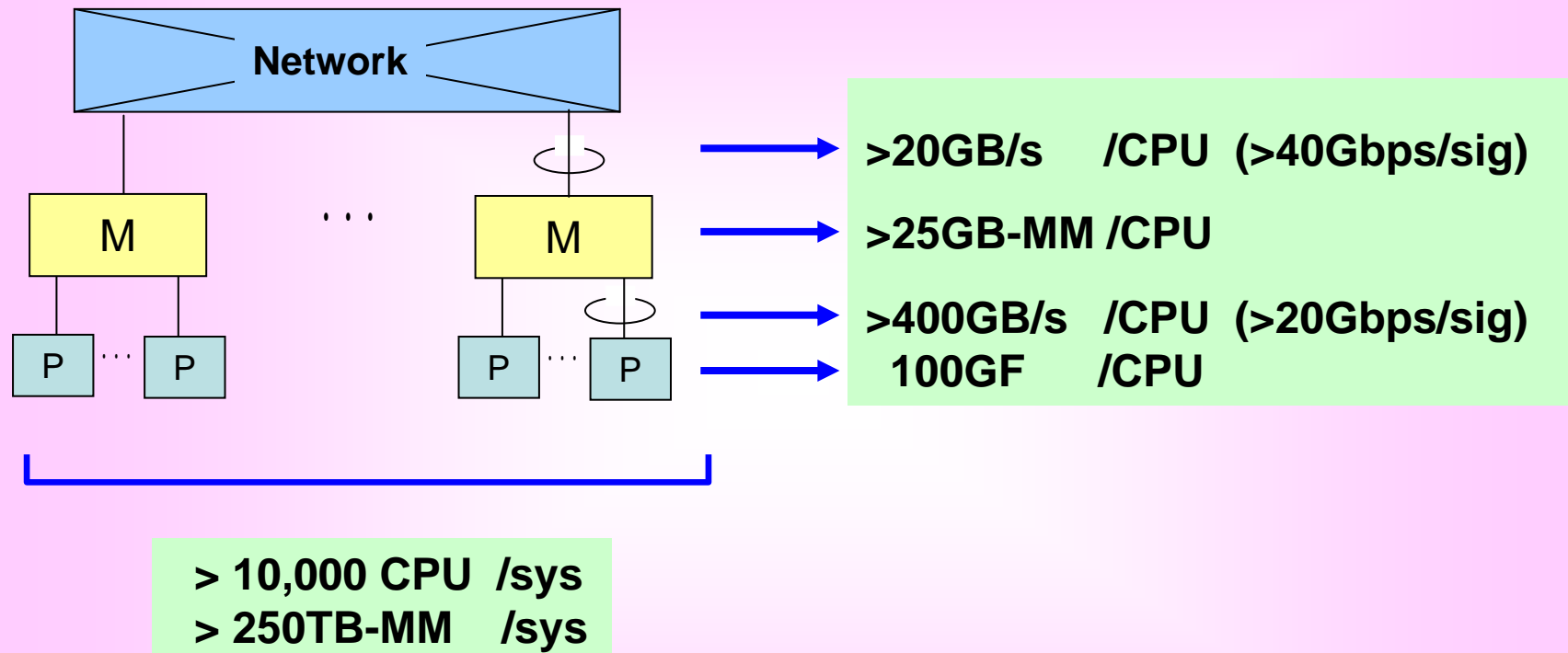
→ 高バンド幅: 電気 光インターコネクト?

→ 高速化: 高速チップ, ベクトル, 冷却, 実装

ソフトウェア要素技術

- ・OS: 大規模資源管理, データ管理, スケービリティ, RAS, ...
- ・コンパイラ/ツール: 言語 (Fortran, C, ...), デバッグ, チューニング, ...

1ペタフロップス超システムの例



2. アプリケーションソフトウェア について

対象分野と波及効果

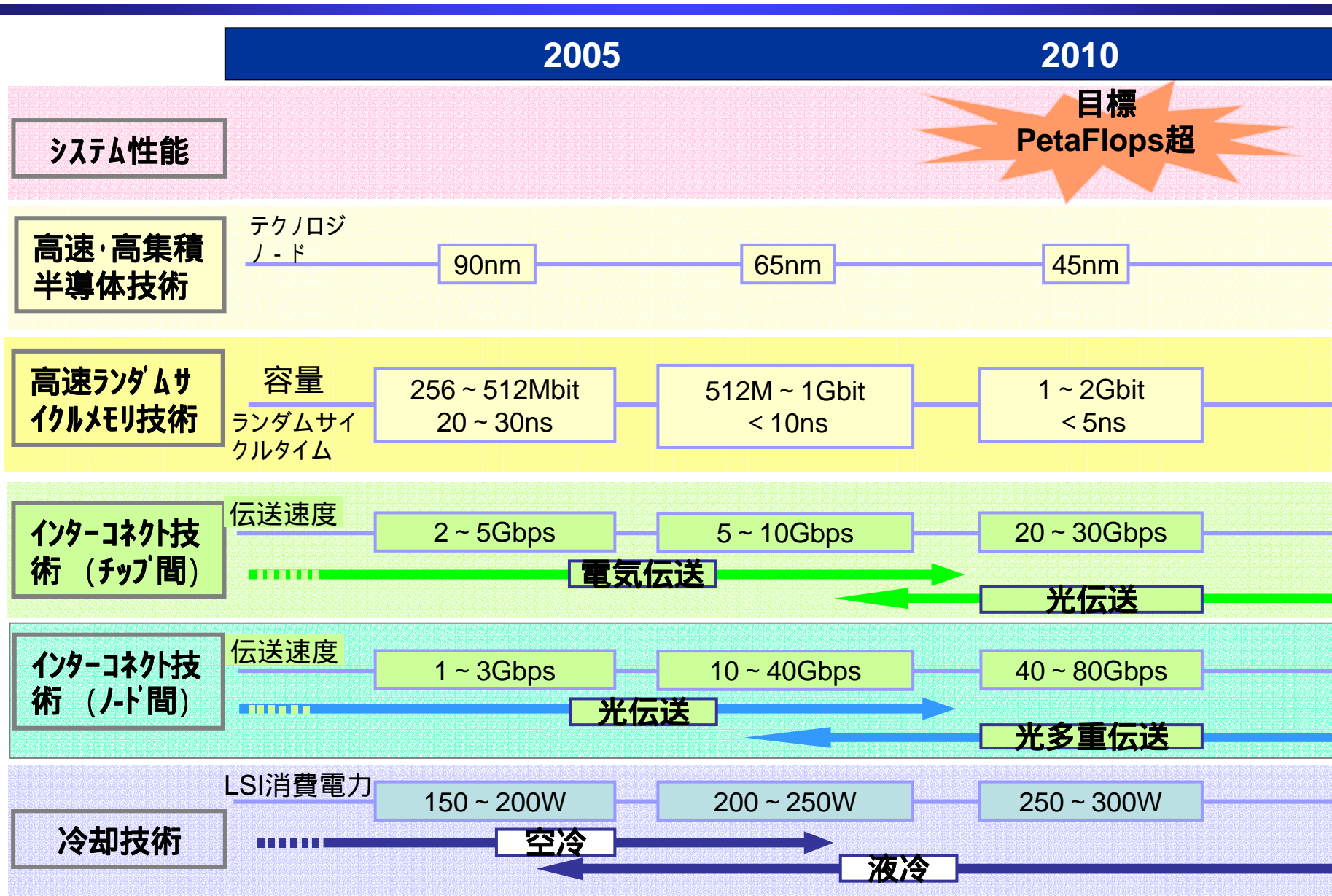
対象分野	シミュレーション	概要	目的	期待されるブレイクスルー	経済的波及効果	必要計算機のアーキテクチャと規模
ナノテク材料 (物質シミュレーション)	ナノ材料の構造・特性解析、機能予測(フラレン、ナノチューブ、ポリマー等)	分子動力学計算などによる電子状態・構造予測、機能・力学予測	新素材開発 実験困難な物質特性の解明	基本物理現象の解明 ナノデバイスの機能予測、新素材開発 自己組織化から高機能材料へ	ナノサイエンス ナノ技術応用産業の創出。微小デバイスによる超高速計算機実現。国際競争力向上	ベクトルスカラ PFLOPS級 アーキテクチャ適合性 (大 中)
バイオ	蛋白質機能・代謝系シミュレーション システム生物学	創薬候補スクリーニング 酵素・触媒反応、高分子状態計算 細胞信号伝達モデル	創薬開発期間・コスト削減 医療改善(副作用低減等)	特定疾病に対する新薬設計・検証 癌の発現機構の分子レベルでの解明と治療法	ライフサイエンスにおける国際競争力向上	ベクトルスカラ PFLOPS級
メディカル・インフォマティクス	仮想生体モデル	構造・流体連成、臨床画像連携による組織・器官・全身モデル	人体機能のシミュレーション、新規治療法の創出	計算医学(生体モデル、テラーメイド医療)	医療サービス産業の多様化	ベクトルスカラ PFLOPS級

対象分野と波及効果

対象分野	シミュレーション	概要	目的	期待されるブレイクスルー	経済的波及効果	必要計算機のアーキテクチャと規模
エネルギー	電磁エネルギー、粒子計算	電磁流体シミュレーション 粒子運動シミュレーション 素粒子レベルの相互作用計算	核融合理論体系の構築 新エネルギー開発 理論物理学の発展	核融合の実用化促進 物質構造解明(クオーク・グルオン相互作用、宇宙での重元素の起源など)	核融合エネルギーの実用化 国際競争力向上	ベクトルスカラ (粒子系では多並列型を併用) PFLOPS級
気象・地球環境	気象・気候シミュレーション 環境シミュレーション	全球・地域・局地予報 気候モデル～大気・海洋・海氷・生態連成 超高層大気、固体地球モデル	高精度予報 地球温暖化予測・対策 気象・地震災害対策	シビア気象(ストーム、ダウンバーストなど)のリアルタイム予報 長期気候変動の予測	気象予報、地球環境対策での国際的地位の向上 政策決定、国家規模のリスク管理能力の向上	ベクトルスカラ PFLOPS級
航空宇宙 / 自動車	飛翔・走行特性、燃焼・衝撃・騒音・快適性、輸送システムモデル	流体・構造・燃焼化学反応・音場シミュレーション	高性能・信頼性・安全性を実現する輸送手段開発	開発期間・コストの大幅短縮	航空宇宙・自動車産業の競争力向上 新輸送サービス創出	ベクトルスカラ PFLOPS級

3. 必要な要素技術について

必要要素技術



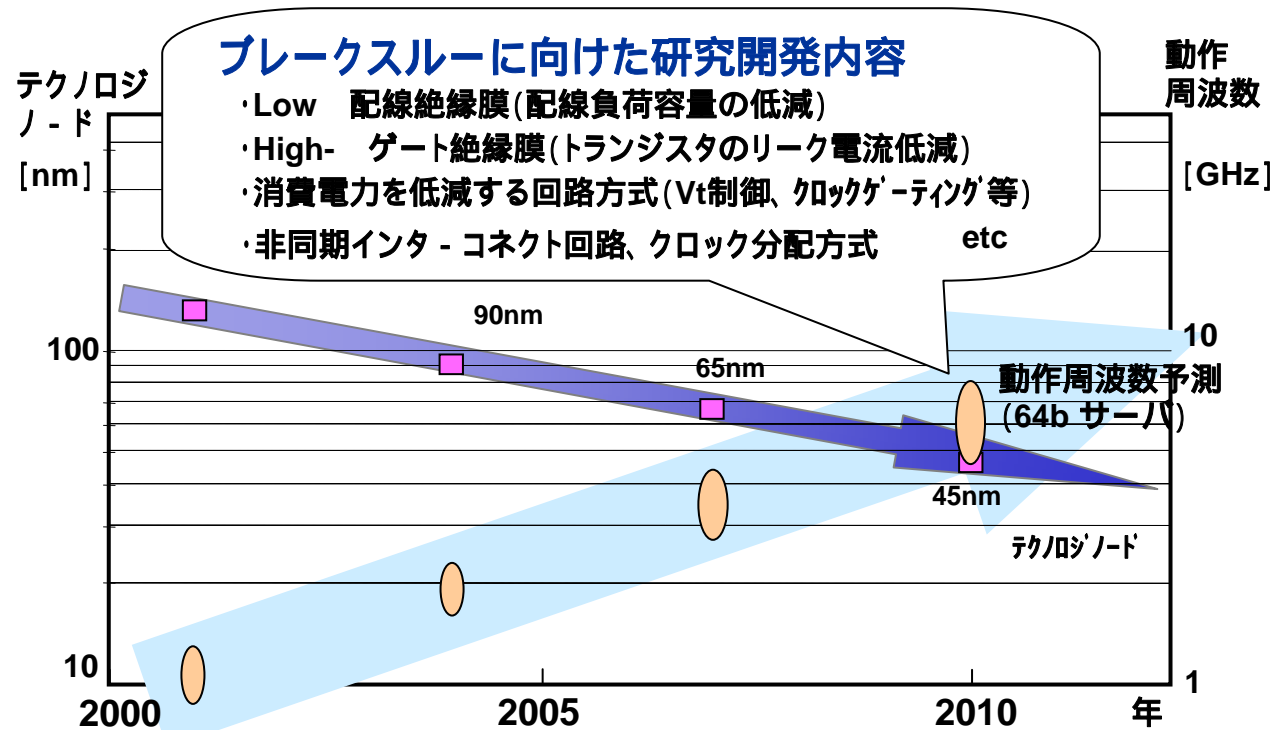
高速・高集積半導体技術

現技術の限界とブレークスルー

- ・プロセス微細化に伴うリーク電流増により消費電力が急増、高速化を阻害
消費電力の低減 および 冷却能力の向上
- ・大規模LSI内の機能ブロック間同期伝送では高速化に限界
大局非同期、局所同期型LSIアーキテクチャ

研究開発の現状

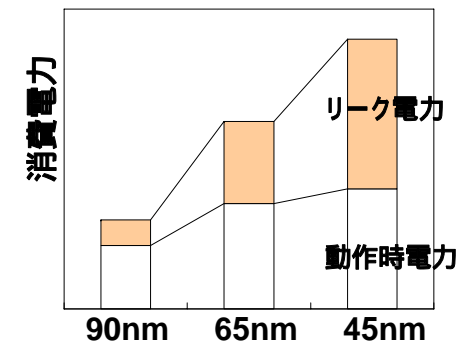
研究機関、半導体各社で研究しているが、高速・高集積分野向けには、研究開発の強化が必要



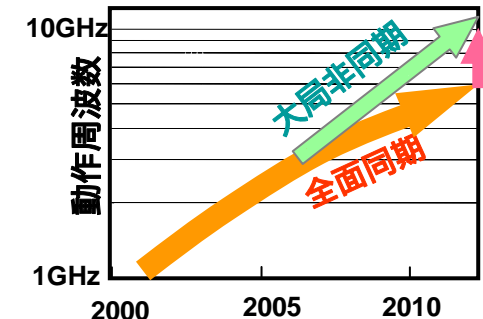
超高速計算機以外の適用分野

- ・高性能サーバ、ネットワーク機器、画像処理システム、PC、デジタル家電 etc

消費電力増大の問題



同期伝送の高速化限界



高速ランダムサイクルメモリ技術

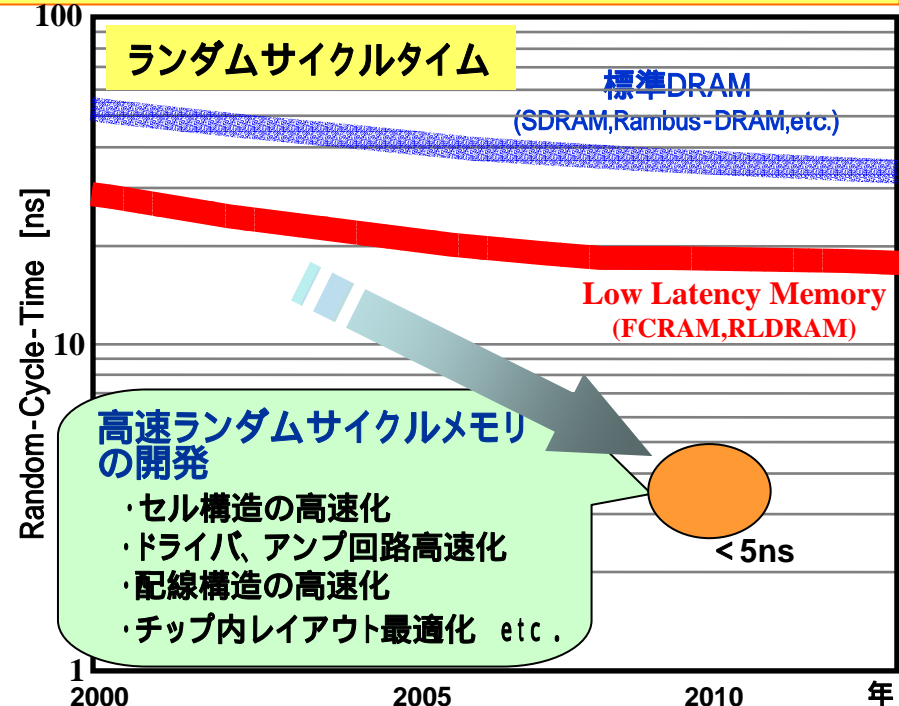
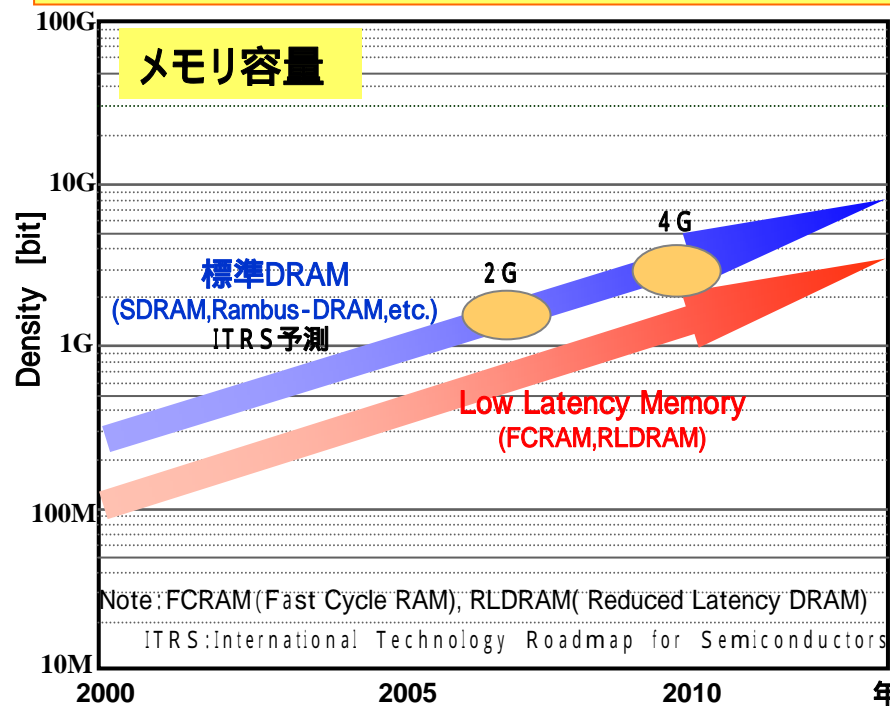
現技術の限界とブレークスルー

- ・書き込み / 読み出し時間の高速化に限界

大容量且つ高速なランダムサイクルメモリの開発が必要

研究開発の現状

- ・標準DRAMや商用の高速DRAM (LOW Latency Memory) は将来に向けて改善されていくが更に性能向上が必要



超高速計算機以外の適用分野

- ・高性能サーバ、ネットワーク機器、画像処理システム、PC、デジタル家電 etc

インターコネクト技術

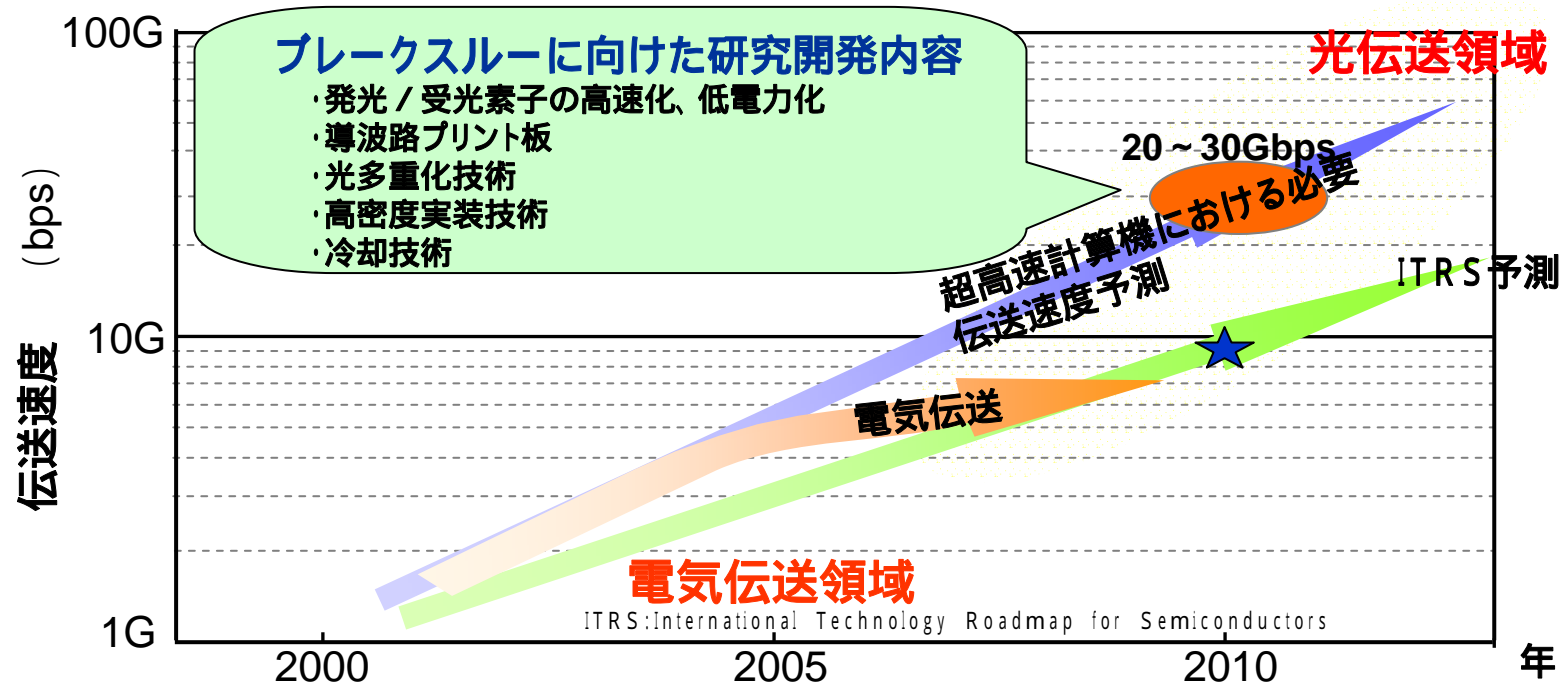
現技術の限界とブレイクスルー

- ・電気伝送では5 ~ 10 Gbps程度が限界 (多信号、数十cm程度の伝送では)

光伝送技術の開発が必要

研究開発の現状

- ・各種研究が行われているが、高速化、高密度化、低電力化の飛躍的な向上が必要



超高速計算機以外の適用分野

- ・高性能サーバ、ネットワーク機器、画像処理システム、ファイル装置、PC、デジタル家電、医療機器、車 / 航空機用機器 etc

冷却技術

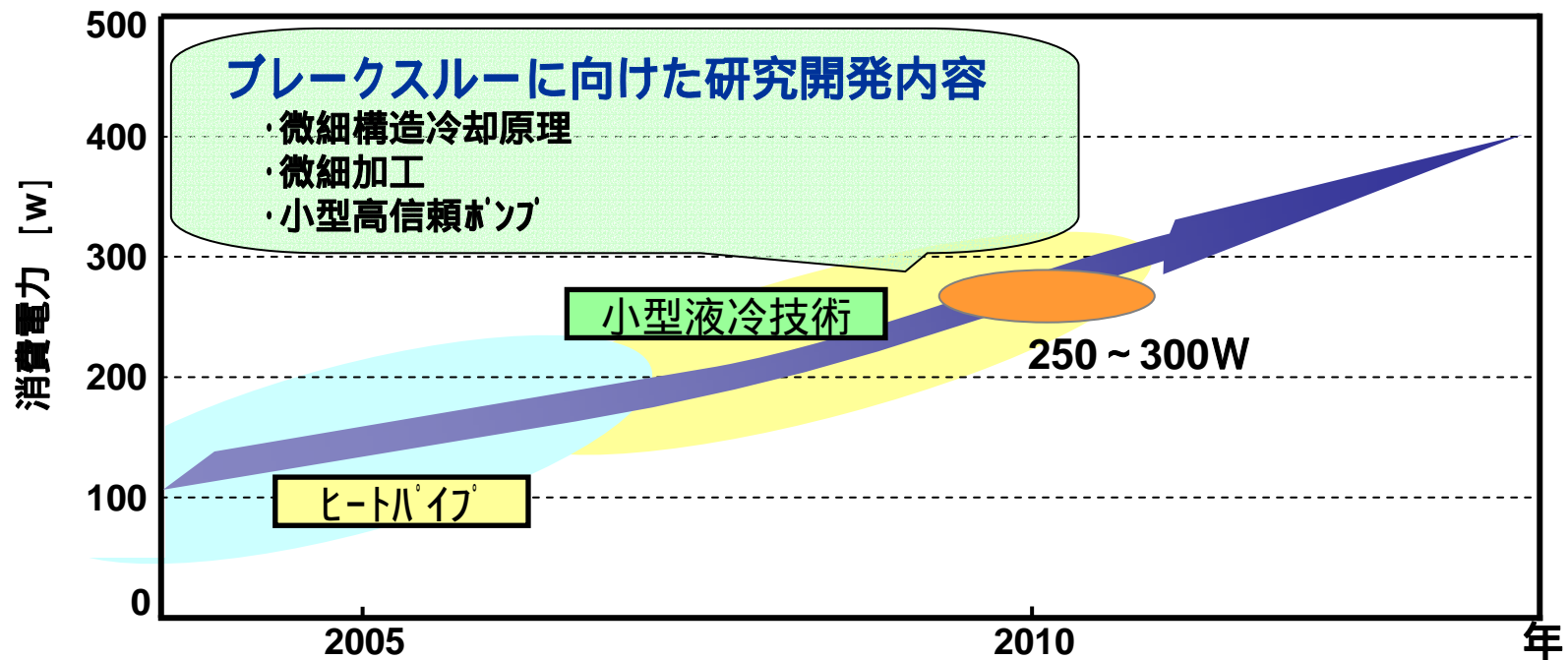
現技術の限界とブレイクスルー

- ・高発熱LSI対応としてはヒートパイプを使用した空冷が主流であるが占有体積が大きく、200W程度が限界

冷却能力が高く、かつ小型な冷却技術の開発が必要

研究開発の現状

- ・PC用100W程度の冷却技術が主流。HPC向けには冷却性能向上が必要



超高速計算機以外の適用分野

- ・高性能サーバ、ネットワーク機器、画像処理システム、ファイル装置、PC

4. 要素技術の研究開発について

要素技術の研究開発

要素技術		初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度	第6年度	第7年度	研究開発 実施体制
高速・高集積 半導体技術		技術開発			設計/試作/評価 ・回路設計 ・レイアウト設計 etc		実機量産		・自社開発 または ・大学等との 共同開発
インターコネクト技術開発	ノード間	技術開発 3億円			設計/試作/評価 6億円 ・実装設計 ・配線設計 ・信頼性確認 etc		実機量産		・大学等との 共同開発
	チップ間	技術開発 20億円		実証試作 4億円	設計/試作/評価 12億円 ・実装設計 ・配線設計 ・信頼性確認 etc		実機量産		・大学等との 共同開発
高速ランダム サイクルメモリ開発				設計/試作/評価 5億円 ・回路設計 ・レイアウト設計 ・パッケージ設計 ・信頼性確認 etc			実機量産		・他社への 委託開発
冷却技術開発		技術開発 6億円			設計/試作/評価 9億円 ・冷媒循環系設計 ・ポンプ設計 ・冷却器設計 etc		実機量産		・大学等との 共同開発