

## 【基盤研究(S)】

総合・新領域系（総合領域）



### 研究課題名 10億並列・エクサスケールスーパーコンピュータの耐障害性基盤

東京工業大学・学術国際情報センター・教授

まつおか さとし  
松岡 聡

研究分野：総合領域、情報学

キーワード：エクサスケールコンピューティング、耐障害性

#### 【研究の背景・目的】

科学技術分野において、気象予報、地震及び津波伝播予測などのシミュレーションは、理論・実験に続く「第3の手法」として盛んに行われており、大規模なシミュレーションではスーパーコンピュータ（スパコン）が不可欠となっている。近年、計算需要の指数的な増加と共に、年々、スパコンはその規模とスピードが指数的に上昇しており、2018年ごろには、エクサ( $10^{18}$ )フロップス・10億並列のマシンが登場すると目されている。



しかし、それにより搭載されるCPUやメモリなど、多種多様なコンポーネントも指数的に増加し、エクサスケールスパコンでは、仮に各コンポーネントの信頼性が現在の数倍になったとしても、全体の障害発生率は数十倍近くとなる。これは、全てのコンポーネントが正常に稼働する時間間隔が平均で数十分以下不足であることに相当し、エクサスケールシステムでは、マシンが実質的に動作しなくなる。これを解決するために、様々な耐障害技術が提案されているが、エクサスケールシステムへの適用は難しい。

我々は、TSUBAME2.0、及びその後継として2014年に稼働予定の数十ペタフロップス級のTSUBAME3.0を利用し、上記の問題に対する根本的な解決を目指す。

#### 【研究の方法】

10億並列・エクサスケールスパコンの耐故障性基盤を確立する。この目的を実現するために、(1) エクサスケールシステムに適した耐故障の複合的数理モデルおよびその検証、(2) 超細粒度並列・ヘテロジニアス計算環境に適した新しい耐故障手法の確立、(3) 耐故障システムのオーバーヘッドの削減、(4) エクサスケールシステムに対応しうる障害復旧機構の考案、(5) システム統合と性能評価の順に研究を実施する。

具体的には、(1) 既に我々が行った耐故障性の数理モデルの拡張を、億単位のスレッドが扱えるに拡張し、TSUBAME2.0の前任のスパコン東工大TSUBAME1において4年半の運用で詳細に

記録・保存されてきた過去の障害のタイプやその発生率のデータを元に、耐障害手法の最適性・複合的手法の妥当性を明らかにし、(2) エクサスケールスパコンの最有力アーキテクチャである細粒度超並列プロセッサ(GPU等)+疎粒度プロセッサ(CPU等)を併用するハイブリッド型スパコンへ適用する。(3) また、ノードに分散した次世代不揮発性メモリ(SSD等)を活用することにより、オーバーヘッドの最小化を行い、高信頼かつ高性能計算を実現する。(4) さらに、自律的な障害検知・予測、回復手法を動的に選択する機構を追加し、(5) TSUBAME3.0に向けたシステム統合と性能評価を行う。

#### 【期待される成果と意義】

エクサスケールスパコンを実現するためには、高い耐障害性を備えることは、不可避である。この研究で得られた成果は、研究提案者である松岡が設計する予定の一億並列級・数十ペタフロップスのTSUBAME3.0の開発やエクサスケールスパコンの耐障害技術の発展に貢献する。今やスーパーコンピュータは、情報学の枠を超えて、天文学、生物学、地質学、統計学など、シミュレーション及びデータ解析を伴う科学分野全てにおいて、研究遂行に必要な不可欠なインフラとなっており、エクサスケールスパコンにより高精度かつ高速な計算が可能となれば、他分野に与える学術的インパクトは大きい。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Hideyuki Jitsumoto, Toshio Endo, Satoshi Matsuoka. "Environmental-Aware Optimization of MPI Checkpointing Intervals", Proc. IEEE Int'l Conf. Cluster Computing (Cluster 2008)
- Leonardo Bautista Gomez, Naoya Maruyama, Franck Cappello, Satoshi Matsuoka. "Distributed Diskless Checkpoint for Large Scale Systems", Proc. 10th IEEE/ACM Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid 2010)

#### 【研究期間と研究経費】

平成23年度～27年度  
164,400千円

#### 【ホームページ等】

<http://matsu-www.is.titech.ac.jp/ja>