

## 高い性能可搬性を持つ並列言語 XcalableMP 2.0 の開発 (3)

### Development of parallel language XcalableMP 2.0 with high performance portability (3)

中尾 昌広

理化学研究所 計算科学研究センター

#### 1. 研究目的

Oakforest-PACS (OFP) や Cygnus のようなメニーコアやアクセラレータを搭載した HPC クラスタが広く用いられている。HPC クラスタにおけるアプリケーション開発では、その HPC システムの構成によって、異なるプログラミング言語が用いられる。このため、HPC クラスタ間におけるコードの移植性が問題となっている。さらに、同じ製造会社のプロセッサを用いた HPC クラスタであっても、その世代によってアーキテクチャは大きく変わる場合があるため、ポーティングの際の性能チューニングは必須である。

これらのコードの移植と性能チューニングに要するプログラミングコストを小さくするため、本研究では 1 種類のコードから作成されたバイナリを様々な HPC クラスタにおいて高い性能で実行可能にする並列言語 XcalableMP 2.0 (XMP 2.0) の開発を行う。

#### 2. 研究成果の内容

- 統合プログラミング環境 MHOAT

CPU・GPU・FPGAから構成される多重複合型計算機のための、OpenACCに基づく統合プログラミング環境MHOAT (Multi-Hybrid OpenACC Translator)を開発した。MHOATにより、単一のアプリケーションプログラミングインターフェイス (API) で書かれた一つのプログラムから、CPU・GPU・FPGAで連携して演算を行う単一の実行ファイルを生成することができる。本実装はプロトタイプ段階であるが、機能の拡張を順次行っており、未対応であった一部のOpenACC仕様に対応するようにした。

- メタプログラミング機能

XMP 2.0 の機能の一部として、指示文に基づくメタプログラミング機能を開発し、通常のコパイラでは不可能なアルゴリズムの変更を伴うような性能チューニングを可能にした。具体的には、手続きのインライン展開を行う機能を開発するとともに、プログラミング変換を記述するライブラリの充実化を行った。本機能は、コンパイル時評価による性能向上および定形コード抽象化による生産性向上に寄与する。

#### 3. 学際共同利用が果たした役割と意義

本研究は CPU・GPU・FPGA から構成される多重複合型計算機のための高性能並列

プログラミング環境をターゲットとする。したがって、そのような多重複合型計算機である Cygnus を用いることは、研究を進める上で不可欠であった。

#### 4. 今後の展望

MHOAT において OpenACC プログラムの最適な変換方法を検討するとともに、実アプリケーションを用いてその有用性を検証する。また、メタプログラミング機能を拡張し、多重複合型計算機における生産性および性能の強化を目指すとともに、オートチューニング機能との連携を進める。最後に、MHOAT およびメタプログラミング機能と、XMP を融合したプログラミングモデルを検討する。

#### 5. 成果発表

##### (1) 学術論文

- Ryuta Tsunashima, Ryohei Kobayashi, Norihisa Fujita, Taisuke Boku, Seyong Lee, Jeffrey Vetter, Hitoshi Murai, Masahiro Nakao, Mitsuhisa Sato, "OpenACC Unified Programming Environment for GPU and FPGA Multi-hybrid Acceleration," International Journal of Parallel Programming (2021). (投稿中)

##### (2) 学会発表

- Ryuta Tsunashima, Ryohei Kobayashi, Norihisa Fujita, Taisuke Boku, Seyong Lee, Jeffrey Vetter, Hitoshi Murai, Masahiro Nakao, Mitsuhisa Sato, "OpenACC unified programming environment for GPU and FPGA multi-hybrid acceleration," 13th International Symposium on High-level Parallel Programming and Applications (2020).

##### (3) その他

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース*	
		当初配分	追加配分
Cygnus	○	1000	
Oakforest-PACS			
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			