

## SICORP FRANCE ICT FINAL SUMMARY

**Project title : Framework and Programming for Post Petascale Computing (FP3C)**

**Coordinator of the French part of the project : Serge G. Petit (INRIA Saclay)**

**Coordinator of the Japanese part of the project : Mitsuhsa Sato (University of Tsukuba)**

**Project period : 1 September 2010 - 31 March 2013**

### CONSOLIDATED PUBLIC SUMMARY IN ENGLISH

#### **Exploitation of efficient programming and method for the future supercomputers**

##### **General Objectives:**

##### **Facing the challenge to program supercomputers with millions of cores for large computational science applications**

Supercomputers used for advanced computational science have reached several petaflops (a million billion calculations per second) performance. Scientific applications require increasing performance for industrial and societal general improvements. Following the end of the existing Moore law, the number of core per chip increase and the architectures of the supercomputer become very a hierarchical. The number of processors and the interconnecting network increase also and we have then to face new programming problems. Even if we still success to use efficiently the recent supercomputers, we have to propose new paradigms for future scheduled exascale computers (1000 Petaflops). The goal of our French-Japanese project is to contribute to establish software technologies, to propose languages and programming models to explore extreme performance computing beyond petascale computing, on the road to exascale computing. That implies that existing systems, language, programming paradigms and parallel algorithms would have, at best, to be adapted, and would be often obsolete.

##### **Methods or technologies:**

##### **New programming paradigms, languages, methods and systems for the existing and future supercomputers**

The overall structure of the FP3C project is a vertical stack from a high level language for end users to low level architecture considerations, in addition to more horizontal runtime system researches. Our scientific approach is based on analysing issues on post-petascale computing

toward future exascale computing and programming. We first separate hierarchical large-scale supercomputer architecture and accelerator programming problems. Identified important researches have to be address for each of these programming: resilience, large data management and energy consumption, in one hand, and programming paradigms and introduction of new languages, in another hand. A major idea of our approach is really to work on all those correlated aspects together. For the same reason, we develop researches on parallel methods and applications to be able to directly analyse and benchmark the proposed paradigms, languages, systems, and APIs. Our researches focus on the relationship between the different results and how they may contribute to ameliorate the global post-petascale programming solutions

### Project main results :

One of main results is the multilevel programming paradigm (called FP2C) as a solution for post-petascale system to make use of a huge number of processors and attached accelerators in an efficient and hierarchical way. The users may program their parallel algorithms in YML workflow language with parallel components written by XcalableMP (XMP) and its accelerators extensions supported by StarPU runtime technology. We evaluated and validated the proposed programming paradigms and new algorithms and systems to improve post-petascale programming and computing on on several supercomputers in France and Japan, such as the "K" RIKEN supercomputer in Kobe and the PRACE "CURIE" supercomputer in France. Parallel numerical algorithms and benchmarks adapted to the post-petascale system, some of which are based on the proposed paradigm, have been proposed and evaluated.

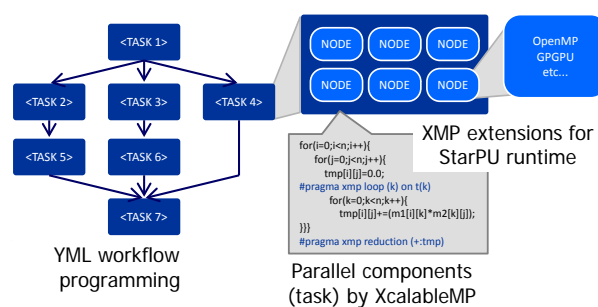


Illustration: FP2C multilevel programming paradigm

**Added value from international collaborative work:**

This project is a part of a French-Japanese collaboration existing since approximately 10 years. This project allows the partners to increase the joint developments of software and experiments. For example, without this collaboration, the multilevel programming paradigm including YML, StarPU developed in France, and XcalableMP(XMP), developed in Japan, would not have been possible. The relationships between the different partners of the project are now important assets for their future researches. A MOU between AICS in Kobe and the MDLS in Saclay would materialize this soon. Without this collaboration, the software integrations and deployments would not have been possible and the large majority of the obtained scientific results would not have been completed

**Scientific production since the beginning of the project:**

Several software were developed and proposed for end-users to compute on post-petascale computers, by integrating several French and Japanese solutions for new proposed languages, programming paradigms, numerical algorithms and benchmarks. We also introduced new numerical methods for future exascale computing.

We present our results in international conference and publish results in proceedings and journals, even if more main recent results are still to be submitted. We organized joint symposiums and workshops on those research subjects.

**Factual information:**

This FP3C is a French-Japanese research project coordinated by INRIA Saclay in France and by the University of Tsukuba in Japan. It associated CNRS, CEA, INRIA, University of Tsukuba, University of Tokyo, Institute of Technology of Tokyo and the University of Kyoto. The project started on September 1<sup>st</sup>, 2010, and will stop in March 31<sup>th</sup>, 2014. The ANR grant amounted to 554 442 € and JST grant amounted to ¥ 103,250,000 for a total budget of 1,286,712 €(¥181,426,322).

## SICORP 仏 情報通信技術 (ICT) 終了報告書 (概要)

**課題名 : Framework and Programming for Post Petascale Computing (FP3C)**

**フランス側代表者名・所属 : 代表 : Serge G. Petito (INRIA Saclay)**

**日本側代表者名・所属 : 代表 : 佐藤 三久 (筑波大学)**

**期間 : 2010 年 9 月 1 日 ~ 2014 年 3 月 31 日**

### CONSOLIDATED PUBLIC SUMMARY IN JAPANESE

#### 将来のスーパーコンピュータの効率的なプログラミングと計算手法の探求

##### 要約 : 大規模な計算科学アプリケーションのための数万のコアからなるスーパーコンピュータのプログラミングについての挑戦的な課題への取り組み

先端の計算科学に活用されるスーパーコンピュータの性能は、すでに数ペタフロップス (1 秒間に千兆回の演算) の性能に達している。産業や社会的な問題の解決のために科学技術アプリケーションの性能の向上が望まれている。トランジスタの集積技術の進歩に関するムーアの法則も限界に近づくにつれて、チップあたりのコア数が増え、スーパーコンピュータの構成も非常に階層的な構造を持つようになってきている。プロセッサ数やインタコネクションネットワークの数も増え、我々は新たなプログラミング上の問題に直面している。たとえ、最近のスーパーコンピュータを効率的にプログラミングすることができているとしても、我々は将来、計画されているエクサスケール (1000 ペタフロップス) のスーパーコンピュータに対しては新しいパラダイムを考えなくてはならない。我々の日仏のプロジェクトの目的は、将来のエクサスケールコンピューティングを見据えて、ペタスケールの次の究極の高性能コンピューティングを追及する、ソフトウェア技術の確立し、プログラミング言語やモデルを提案することである。そのためには、既存のシステムや言語、プログラミングモデルや並列アルゴリズムはできるだけ用いるが、いろいろな技術を新たに検討する必要がある。

##### 手法 : 既存および将来のスーパーコンピュータのための新しいプログラミングパラダイム、言語、計算手法とシステム

我々の FP3C プロジェクトの大体の構成は、エンドユーザへの高レベルな言語から低レベルのアーキテクチャを考慮した垂直的に統合されたソフトウェアスタックに、水平的なランタイムシステムの研究を加えたものになっている。我々の科学的なアプローチは、将来のエクサスケールコンピューティングとプログラミングに向けた、ポストペタスケールコンピューティングについての課題の分析に基づくものである。まず、課題を階層的な大規模スーパーコンピュータのアーキテクチャに関するプログラミング

と演算加速機構のプログラミングに分けて検討することにした。すなわち、一方では故障対処性、大容量データ管理やエネルギー消費、他方ではプログラミングパラダイムや新規プログラミングについて検討するなど、それぞれのプログラミングについて重要な研究課題を明確にした。これらの研究においてはそれぞれに関連する点についてはまとめて検討する。同様に、並列計算手法とアプリケーションの研究においても、提案するパラダイムや言語、システム、API について直接的に解析並びに評価できるように進める。我々の研究は異なる結果がどのように関連しているか、さらにそれが、如何にポストペタスケールプログラミングのソリューション全体の利用に貢献できるかに注目した。

### プロジェクトの主な成果 :

プロジェクト成果の一つは、ポストペタスケールシステムに向けた一つのソリューションとして提案するマルチレベルのプログラミングパラダイムである (FP2C と呼ぶ) 。これは、大規模のプロセッサや付加された演算加速器を効率的にかつ階層的に利用するものである。ユーザは、XcalableMP(XMP)および StarPU 実行時テクノロジーでサポートした演算加速機構拡張で記述された並列コンポーネントを、YML ワークフロー言語で組み合わせることにより並列アルゴリズムをプログラミングすることができる。我々は、ポストペタスケールのプログラミングとコンピューティングをより良いものにするために、提案したプログラミングパラダイムと新しいアルゴリズム並びにシステムを神戸に設置された日本の京コンピュータやフランスの PRACE “CURIE”などのスパコンにおいて、評価・検証した。また、ポストペタスケールシステムに対応する並列数値アルゴリズムやベンチマークを提案・評価し、そのいくつかは上記のパラダイムに基づくものとなっている。

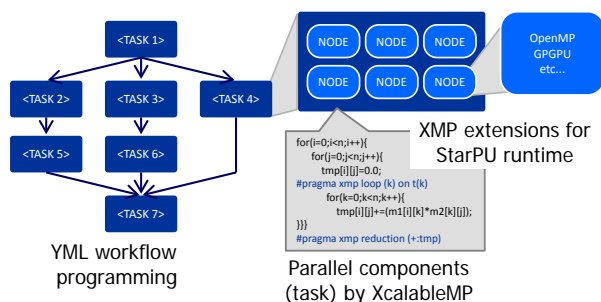


図: FP2C マルチレベル・プログラミングパラダイム

### 国際的な共同研究による付加的な価値 :

本プロジェクトは、これまでの約 10 年間に及ぶ日本とフランスの研究協力の一部である。本プロジェクトにより、パートナー間のソフトウェア開発や評価実験に関する協力を進めることができた。例えば、本共同研究なくしては、フランスで開発された YML や StarPU と日本で開発された XMP を含むマルチ

レベルのプログラミングパラダイムを提案することはできなかったであろう。本プロジェクトの異なるパートナーの関係は、両国のこれからの研究にとって、今や、重要な強みとなっている。神戸の AICS と Saclay の MDLS の間の協定が間もなく締結されることになっており、この関係を強固にするものとなる。この共同研究なしでは、ソフトウェアの統合も実現も不可能であり、得られた科学的な結果の大部分が未完成のものになったであろう。

#### **プロジェクト当初からの科学的成果物：**

様々なソフトウェアを開発し、ポストペタスケールのコンピュータを利用するエンドユーザに提供した。我々が提案する新しい言語とプログラミングパラダイムを用いて、フランスと日本のいくつかのソリューションを統合して、開発・実現したものである。将来のエクサスケールコンピューティングに向けて、新しい数値計算手法を提案した。結果は国際会議に投稿し、プロシーディングスやジャーナルで公表しているが、いくつかの最新の結果については投稿予定である。それらの研究課題については、ジョイントシンポジウムやワークショップを主催した。

#### **事実関係(Factual information)：**

この FP3C は、フランスの INRIA Saclay と日本の筑波大学によってコーディネートされた日仏の研究プロジェクトである。さらに、CNRS, CEA, INRIA、筑波大学、東京大学、東京工業大学、京都大学が参加している。プロジェクトは、2010 年 9 月 1 日に開始し、2014 年の 3 月 31 日に終了予定である。ANR からの予算は、554 442 €、JST の予算は ¥ 103,250,000、で、合計の予算は、1,286,712 €(¥181,426,322)である。