

欧州のハイパフォーマンスコンピューティング戦略とその実現に向けた動き

野村 稔

概要

現在、ハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）が、科学技術面、あるいは経済面で各国の将来に影響を及ぼすという認識が定着してきている。

EC は、2020 年までに HPC システムとサービスの供給・利用において世界のリーダーシップをとることを目指すとし、次の 3 つの柱の連携による推進を図ることを検討している。それらは、(1) エクサスケールに向けた次世代の HPC（に関わるテクノロジー）を開発すること、(2) 産業界とアカデミアに最良の HPC インフラストラクチャへのアクセスを提供すること、そして (3) 欧州が重要と位置付ける領域での、科学と産業向けのアプリケーションにおける優位性を確保することである。

欧州では、HPC 能力の向上を重要視しており、利用可能な全システムの性能合計の増強とその有効な活用の実現に向けて、欧州各国の協調のもと統合的な活動を進めている。

EC が検討中の HPC 戦略の具体化では、欧州の実情に基づいた課題克服への動き、HPC エコシステム全体による取組み、全体に共通してみられる協調の姿勢、PRACE 1.0 の実績を踏まえた拡充、HPC の活用を支える CoE の創設、コーデザインの重視などが注目できる。

キーワード：ハイパフォーマンスコンピューティング, HPC, スーパーコンピュータ, 欧州, PRACE, ETP4HPC, CoE, 国際戦略, 国際連携

1 はじめに

現在、世界中でハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）が、科学技術面、あるいは経済面で各国の将来に影響を及ぼすという認識が定着してきている。HPC とは、自然現象のシミュレーションや生物構造の解析など、非常に計算量が多く高性能な計算が要求される処理のことである。EC は、2020 年までに HPC システム（HPC を行うためのスーパーコンピュータ）とサービスの供給と利用において世界のリーダーシップをとることを目指すというビジョンのもとでその具体化にむけて活動している。

EC は、2012 年に「High-Performance Computing: Europe's place in a Global Race」¹⁾にて、「欧州は HPC のアプリケーション、および高度なソフ

トウェア・サービスの開発に強さを持っているにもかかわらず、EU の HPC サプライヤの 2009 年の市場シェアは 4.3% しかない。ほとんどの EU の HPC メーカーは姿を消しており、米国製のスーパーコンピュータが EU 市場の 95% を占有している。EU は科学的・工学的なソフトウェアで成功した多くの企業をもち、並列ソフトウェア開発では多くの重要な分野で強みを有している。最先端の HPC ハードウェアは、関連するソフトウェアと密接にリンクしており、片側における消失は必然的に他方の消失につながる」と、現状の HPC 領域で欧州が置かれている状況に対して、強い懸念を示している。

そして、EC の DG CONNECT e-infrastructure の部門長は、2013 年 6 月 16 日に開催された PRACE Scientific Conference での「High Performance Computing: implementing the strategy」²⁾と題する発

表で、「欧州は、世界の他の国々に比較して利用可能なHPC能力(全加盟国の合計)が減少している。欧州のHPCへの取り組みは、多くの国々間で断片化しており、例えば、単一のEU加盟国のどこも、エクサスケール技術を開発するための能力はない。HPCを生産できる幾つかのベンダーはあるが、外国のコンポーネントや(サブ)システムへの依存度が高い。また、欧州の知的財産権は他の国に恩恵を与えている状態にある。欧州の優位性として、①アプリケーションとコード(プログラム)、②世界クラスの欧州HPCインフラストラクチャ、③深く多様なHPCユーザ経験と先導的能力がある。③としては、電力効率のよいマイクロエレクトロニクス、プロセッサ設計、インターコネクトとマストレージシステム、(サブ)システム統合ソフトウェアツールがある」と欧州のHPCにおける課題と優位性について言及している。

さらに、世界のHPCの状況については、「米国は、『コンピュータで勝ることは、競争で勝ることと等価』という考えのもと、HPCシステムの主要消費国となっている。TOP500リスト³⁾(2012年11月時点)で第1位のTitan(オークリッジ国立研究所)をはじめトップ10に4システムが入っており、2012年だけでエクサスケールのために1億2600万ドルを投資し、2016年までに2つの100+ペタFLOPS(Floating-point Operations Per Second:1秒間の浮動小数点演算回数)システムを計画している。

中国は、自国内のHPCサプライチェーンの開発に対し数10億ドルの投資をしている。次のTOP500(2013年6月発行)での第1位システム(約50ペタFLOPSのTianhe-2)を所有し、2015年までに2つの100ペタFLOPSシステムの開発

を計画している。

日本は、TOP500で第3位(2012年11月時点)のHPCシステムを所有し、2013年末までにエクサスケール計画を作成予定である。

ロシアでは、2009年にメドベージェフ大統領(当時の)がHPCプログラムを発表し、インドでは2012年3月にインドのHPCシステム用に10億ドルを準備すると発表している。また、中国とロシアはHPCを一つの戦略的優先分野であると宣言し、取り組みを大規模化している」と、国際競争が激化しつつある状況を示している。

本稿では、まずTOP500リストから欧州のHPCシステムの状況を概観し、HPC領域で欧州が置かれている状況への対応としてECが検討中のHPC戦略とその実現に向けた動きを示す。

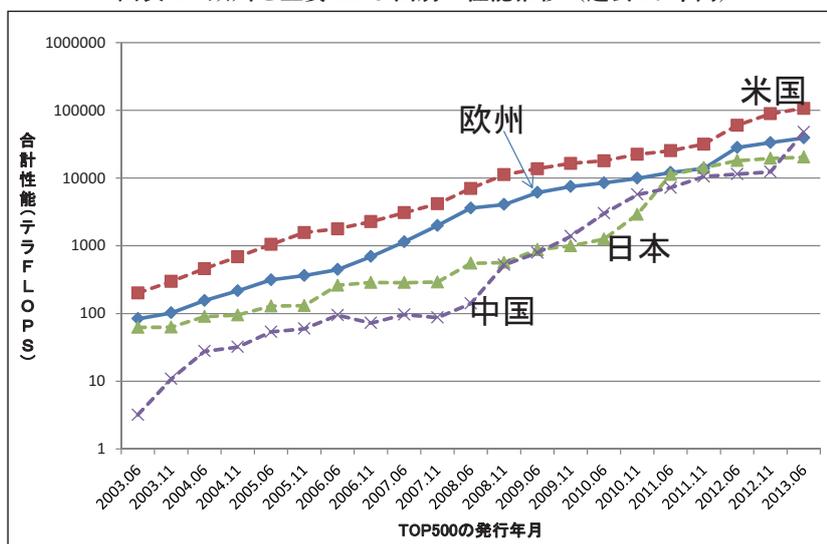
2 TOP500 リストにみる欧州のHPCシステムの状況

2-1 性能の推移

図表1に過去10年のTOP500リストにみる欧州と主要HPC国別のHPCシステムの性能合計の推移を示す。ここで性能は、LINPACKベンチマークの値を指し、性能合計とは500位までにランクされている各国のシステムのLINPACK性能の合計値である。

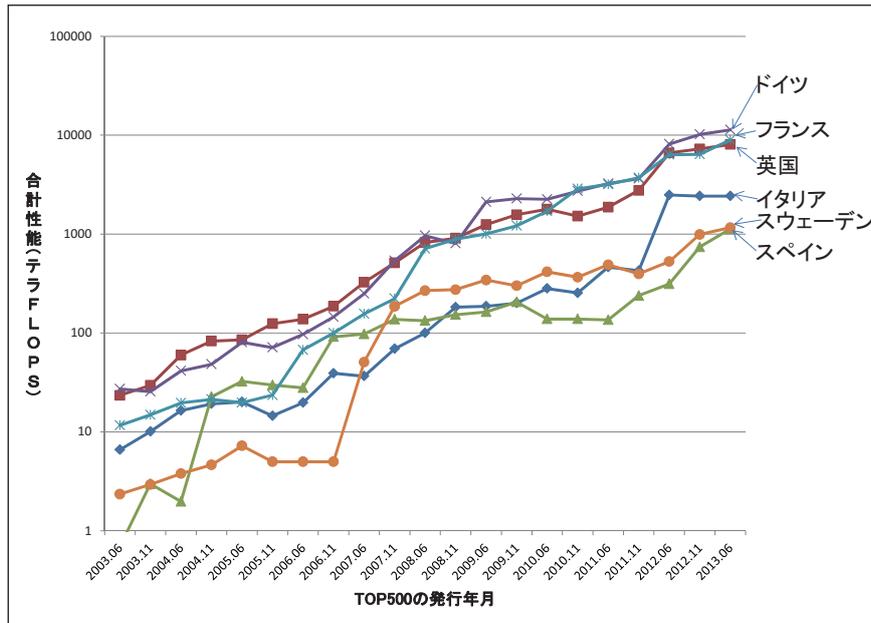
米国は1位を堅持しており、欧州は、長年にわたり2位を維持してきたが、2013年には中国に抜

図表1 欧州と主要HPC国別の性能推移(過去10年間)



出典：参考文献3を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表2 EUの主要HPC国の性能推移



出典：参考文献3を基に科学技術動向研究センターにて作成

かれて3位となっている。

2-2 EUの主要HPC国の性能推移

図表2にEUの主要HPC国である6か国の性能推移を示す。(欧州でみるとEU加盟国以外のロシア、スイスも主要HPC国であり、図表2でイタリアに次ぐ位置にある)

これらいずれの国々も過去大幅に性能を増加してきていることが分かる。

3 欧州のHPC戦略とその実現に向けた動き

ECは、前記の2012年の報告書¹⁾を欧州議会、欧州理事会、欧州経済社会委員会と地域委員会に提出している。その内容に対し、Competitiveness Councilの会議が2013年5月29、30日に開催され、「HPCは、EUのイノベーション能力のための重要な資産であり、EUの産業・科学・市民にとって戦略的に重要なこと、全HPCエコシステムに対応するEUレベルのHPC政策が必要であること、公的・私的を問わず全関係組織がパートナーシップをとって協働すべきこと、加盟国・EC・産業界はHPCへの適切な投資額を確保すべきこと、加盟国とECはHPCに対する優先度や計画について意見交換と情報共有をすべきこと」⁴⁾と回答されている。

これらを背景にしたECが検討中のHPC戦略とその実現への動きを、参考文献2を中心とし、その他関連情報を補完して以下に示す。

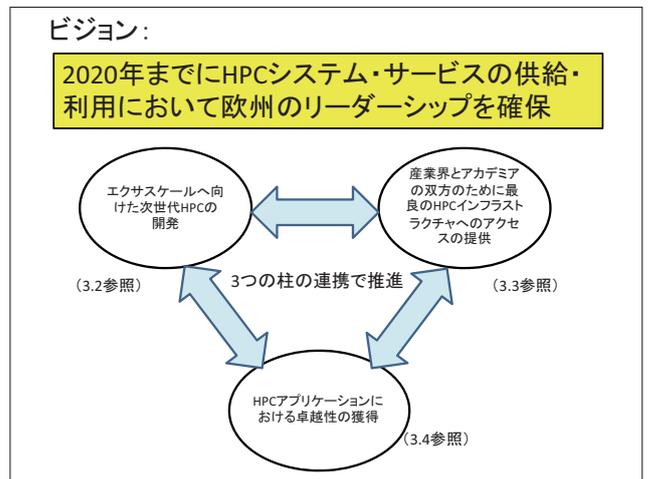
3-1 ビジョン

2020年までに、HPCシステムとサービスの供給および利用において欧州のリーダーシップを確保する。その達成のために、3つの大目標(3つの柱)を設定し、相互の連携で遂行することとしている(図表3)²⁾。

また、これらを支える高度なHPC人材育成環境が重要であるとしている。

以下、各々の柱について概要を示す。

図表3 ビジョンと遂行方針



出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

3-2 エクサスケールへ向けた次世代 HPC の開発

エクサスケールに向けた次世代 HPC（に関わるテクノロジー）を開発することを目標としている。そして、約 10 年以内にエクサスケールシステムを構築するための自主テクノロジー（autonomous technology）開発に欧州ワイドで取り組むこと、エクサスケールコンピューティングへの移行には基礎科学とテクノロジー開発が必要であり、これらは欧州にとって機会創出につながることを挙げている。さらに、このような先端的な HPC は約 5 年以内に商用製品につながり、波及効果が高いことも述べられている。

具体的な内容として、システムアーキテクチャから、高度なソフトウェアやツールおよび革新的なアプリケーションなどの全体の領域をカバーする研究開発（システムソフトウェア、ファイルシステム、コンパイラ、プログラミング環境、ツール、アルゴリズムなどを含む）、および、仕様に従ったプロトタイプシステムを提供することを挙げている²⁾。

この推進の主要な役割を担っているのが、European Technology Platform for High Performance Computing (ETP4HPC)⁵⁾ である。ETP は、産業界主導のフォーラムであり、主な HPC テクノロジーの供給者、および HPC 研究に携わっている研究センターを構成メンバーとしている。そして、EU の成長・競争力・持続可能性の実現のために、中長期的にみて主要とされる研究およびテクノロジー進歩を必要とする多くのテクノロジー研究に対して、ステークホルダーが研究の優先順および行動計画を定義するためのフレームワークを提供することとしている。そして、EU の産業界における研究課題の調整を図ることを視野にしている。

ETP4HPC は、2013 年 2 月に「Strategic Research Agenda (SRA)」(第 1 版)⁶⁾ を発行している。SRA 作成の目的は、HPC テクノロジーに対する欧州の研究プログラムの実現に向けたロードマップを定義することである。SRA は、産業界の HPC ユーザ、独立系ソフトウェアベンダー (ISV) など、欧州の HPC 領域における関連組織や団体などとの協議によって開発された。関係者としては約 130 人の記載がある。

SRA には、HPC 主要領域の研究として 6 領域がとりあげられ、各領域はいくつかの項目に細分化されて優先度が検討されている。そしてそれらをマイルストーンとして示している。また、その他の補完領域でのアクションも合わせて記載されている (図表 4)。今後は、SRA のロードマップを基に具体化の議論が進められていくことになるだろう。

3-3 産業界とアカデミア双方のために最良の HPC インフラストラクチャへのアクセス提供

世界クラスの HPC 能力とサービスを提供し、それにより科学と産業（中小企業を含む）における競争力を強化することが目標である。その背景として、科学的なブレイクスルーの最前線にとどまり、産業の革新的な能力を強化するためには、計算とシミュレーションへの要求がかつてないほど増大していることを挙げている。そして、欧州の最高レベルの研究者が、HPC インフラストラクチャの所在地やユーザの場所に関係なく、世界クラスの HPC システムにアクセスできることを目指している²⁾。

HPC の開発は、長い間、加盟国の自国の事業として扱われてきていたが、最近、研究者や産業界の HPC の重要性の高まりだけでなく、国際的な競争力の維持に必要とされる投資の指数関数的な上昇により、‘Europeanisation’ が全ての人々にとつ

図表 4 SRA で記載されている内容

HPC主要領域の研究(マイルストーンに記載された項目数)
•HPCシステムアーキテクチャとコンポーネント(11)
•システムソフトウェアと管理(24)
•プログラミング環境(24)
•エネルギーと弾力性 (resiliency) (24)
•計算、I/O、ストレージ性能のバランス(11)
•ビッグデータとHPC利用モデル(8)
その他補完領域でのアクション
•HPCサービス
•独立系ソフトウェアベンダー(ISV)
•HPCテクノロジーの供給者の中小企業
•教育と訓練

出典：参考文献 6 を基に科学技術動向研究センターで作成

て恩恵をもたらすという共通理解を導いた。そして、これが、長期の検討・準備期間を経て Partnership for Advanced Computing in Europe (PRACE) (2010年に非営利団体として法人化)の設置につながっている¹⁷⁾。

PRACEは、欧州のアカデミアおよび産業界の科学者や研究者のために世界クラスのHPCサービスの永続的な提供を目指している。PRACE発足から2015年までの活動をPRACE 1.0と呼んでおり、今までに実現されたHPCインフラストラクチャと加盟国の状況を図表5に示す。PRACEを通してアクセス可能な最上位のHPCシステム(Tier-0システム)は、PRACEへ加盟しているホスティングメンバーの欧州レベルのセンターによって供給されている。PRACEの実装フェーズ(Implementation Phase)は、EUのSeventh Framework Programme (FP7/2007-2013)のファンドを受けて実行された。

Tier-0システムへのアクセスは、科学的な卓越性を採択基準にしたピアレビューを経て提供され、研究や産業利用が進められている。全Tier-0システムの合計ピーク性能値は約13ペタFLOPSとなっており、2010年以降でこれらのシステムの50億時間が提供されている。また、2010年から2015年までの予算化としては、5億3千万ユーロ(EUからの7千万ユーロを含む)が確保されている。

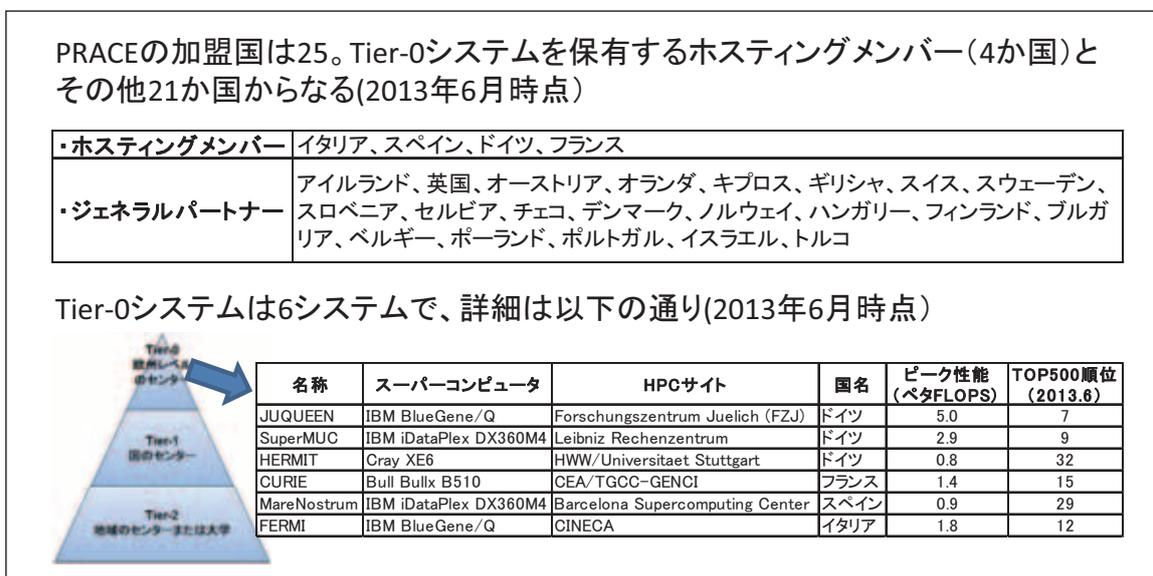
PRACEはさらに、そのサービスをミッドレンジのシステム(Tier-1:各国のHPCセンターが所有するTier-0システムより下位のシステム)にまで拡張しつつある。「システムと専門知識のプールと共有というPRACEのモデルは、利用可能な限られたリソースの最適利用を可能にするモデルである」ともある⁸⁾。

PRACE1.0後の活動をPRACE2.0とし、科学と産業に向けたインフラストラクチャの提供(最先端HPCプラットフォームへのアクセスの提供、全学術分野と欧州のすべての国々へ向けたオープン化)、科学と工学における高スキルで革新的な人材の育成と維持による競争力の確保、知識と専門性の共有化、高品質のサービスの提供、高度で有効なHPCエコシステムの統合を牽引することを挙げている。HPCシステムに関する計画には、2013年中にTier-1のサービス・調整を実行レベルに移すこと、2014年後半に複数の50ペタFLOPSクラスのTier-0システムを設置し、新Tier-0システムの時間割当を開始する予定が記されている⁸⁾。

3-4 HPCアプリケーションにおける卓越性の獲得

HPCインフラストラクチャをフルに活用し社会的・科学的・産業的な課題に対処するために、全領域における戦略的アプリケーションの開発・最適化・プロビジョニングを図ることも重要としている。その背景として、現在のペタFLOPSシステムを真に駆使できているのはごく少ないアプリケーションであるとの認識がある。その改善のためには、新計算手法とアルゴリズムの開発、および、(新)アプリケーションを新しい方法で(再)プログラム化することが必要であると述べている。また、コードは、特定コミュニティ向けに個々にベストエフォートのアプローチで開発されメンテされているという実状があり、その改善が必要なことと、専門的計算知識がさらに広く利用できる

図表5 PRACE 1.0の状況



出典：参考文献8他を基に科学技術動向研究センターにて作成

必要があることも挙げられている²⁾。

HPC アプリケーションにおける e-Infrastructure の CoE を設立して推進することとしている。そして、欧州にとって最も重要な科学・産業領域（学際的アプローチ）とコーデザインにフォーカスすべきであると記載されている。そして、限られた数の CoE をサポートすることや、対象とするトピックスは広く公募で選択すること、アプリケーションの所有者あるいはユーザ主導のガバナンスの構築などが検討されている²⁾。

前記の EC が提出した報告書¹⁾の具体化に向け、2012年10月18日に EC 主催によるワークショップが開催されて、約15人の HPC コミュニティの代表者が参加し、CoE の目的、役割、デザイン、組織などを議論して EC に提言している⁹⁾。図表6に、議論された CoE の姿をワークショップの内容から抜粋して示す。

中でも重要と位置づけるコーデザインについては、最先端の HPC 開発にとって必須であり、CoE 間でプロジェクトベースに実行されるだろうとしている。そして、システムソフトウェア、エネルギー効率のよいコード、およびメモリ階層のような課題をもカバーすべきであること、産業界の参加のためには適切な知的財産権の保護が必要なことも指摘されている⁹⁾。

今後、このワークショップでの提言を活かした具体化が進められていくことになろう。

以上、これらの遂行には官民のパートナーシップが必須であり、ETP4HPC によって contractual Public-Private Partnership (cPPP) のプロポーザル¹⁰⁾が提出されている。

4 おわりに

EC の DG Information Society は、米国の調査会社である IDC に欧州における HPC 戦略の調査を依頼し、2010年7月に報告書¹¹⁾が作成されている。ここには欧州の強い点、弱い点、今後の方向性が提示されており、この報告内容が EC が検討中の HPC 戦略の根拠になっていると考える。EC は、HPC への投資に対して「2009年の欧州全体でのハイエンドな HPC リソースへの投資規模は6億3千万ユーロであり、グローバルな競争下で HPC システムとサービスを維持するには不十分である。年間で12億ユーロに倍増すべきである」¹⁾と言及しており、欧州全体での財政的支援を呼びかけている。また、2013年10月10日に PRACE が発行した特別レポート「Supercomputers for all」でも、EC は、欧州の HPC 投資への増額が必要なことおよび HPC で勝るには一つの戦略（前記した3つの柱）のもとでの総合的なアプローチが必

図表6 議論された CoE の姿

項目	内容
目的	<ul style="list-style-type: none"> 科学的発見と産業競争力の中心として計算科学を位置付ける 他の HPC センターが対象とするマスマーケットの支援より、むしろ科学と産業アプリケーションの双方のための最先端ソフトウェアおよび関連の専門知識とスキル開発・サポートに焦点を絞る
特性	統合、学際的、科学指向であること <ul style="list-style-type: none"> 統合：単に HPC ソフトウェアのみを対象とするのではなく、関連するハードウェア、データ、ストレージ、コネクティビティ、セキュリティ等を包含する 科学指向：CoE は科学をベースにすべきだが、必ずしも単に純粋なアカデミック研究をサポートするだけではない。アカデミックな研究者のニーズだけに基づくセンターは、産業界のニーズを満たせない。CoE の幾つかは、社会的な課題への対応のために産業界の関与がキーとなりうる。バリューチェーン内の活動にフォーカスすることが必要
構成	4つの主要なセンタータイプと取り組み内容 <ul style="list-style-type: none"> vertical/thematic: 特定分野またはアプリケーション領域 generic/transversal: 計算科学の基礎的および/または横断的な側面 pure science: 科学的/社会的な研究課題 industrial/sectoral: 産業セクターまたはバリューチェーン向けの研究課題
主要なアプリケーション/テーマ領域	<ul style="list-style-type: none"> 医療&ライフサイエンス; 天候、気候&固体地球科学; 産業用アプリケーション&エンジニアリング科学; 材料科学; 化学とナノサイエンス; 天体物理学、高エネルギー物理学、プラズマ物理学など パーソナライズドヘルス、またはクリーナープロダクションなどの社会的/産業的な課題も指向 横断的観点(数値計算手法、アルゴリズム、性能分析、プログラミングモデルなど)は、全領域を支える共通のプラットフォームの提供に重要であり、それら専門の CoE の設置が効率的である
サービス	ポテンシャルサービス <ul style="list-style-type: none"> HPC アプリケーションのサポート、HPC アプリケーションの研究、コミュニティの形成、コーデザイン活動、品質保証、訓練と技術開発

出典：参考文献9を基に科学技術動向研究センターにて作成

要なことを再度強調している¹²⁾。今後の推進に関しては、2013 年末までに HPC 戦略の実現に向けた EC の計画が発表予定で、Horizon2020 の最初の Workprogramme への採用を目指していること、そして、2015 年までに欧州理事会 (Council) に HPC 戦略の進展についての報告を予定している²⁾。

EC が検討中の HPC 戦略の特徴は、欧州が優位性ありと認識しているソフトウェア面だけでなく、HPC サプライチェーン全域に渡る活性化を

指向していることであり、エクサスケールの HPC の実現という動きの中に、その機会があるとみていることである。そして、その HPC 戦略の具体化では、欧州の実情に基づいた課題克服への動き、HPC エコシステム全体による取組み、全体に共通してみられる協調の姿勢、PRACE 1.0 の実績を踏まえた拡充、HPC の活用を支える CoE の創設、コーデザインの重視などが注目される。

参考文献

- 1) EUROPEAN COMMISSION 「High-Performance Computing: Europe's place in a Global Race」、Brussels, 15. 2. 2012 COM (2012) 45 final
- 2) Kostas Glinos, Head of Unit, eInfrastructures, European Commission 「High Performance Computing: implementing the strategy」2013 年 6 月 16 日、PRACE Scientific Conference
- 3) TOP500 : <http://www.top500.org/>
- 4) 「Conclusions on 'High Performance Computing: Europe's place in a Global Race」、3242nd COMPETITIVENESS (Internal Market, Industry, Research and Space) Council meeting Brussels, 29 and 30 May 2013
- 5) ETP4HPC : <http://www.etp4hpc.eu/about-us/who-we-are/>
- 6) ETP4HPC Strategic Research Agenda Achieving HPC leadership in Europe : http://www.etp4hpc.eu/wp-content/uploads/2013/06/ETP4HPC_book_singlePage.pdf
- 7) 野村稔 「欧州におけるペタスケールコンピューティングの動向」科学技術動向、No.79、2007 年 10 月号
- 8) Sergi Girona, Chair of the Board of Directors and Managing Director, PRACE 「Partnership for Advanced Computing in Europe」2013 年 6 月 16 日、PRACE Scientific Conference
- 9) HPC-Centres of Excellence Workshop、2012 年 10 月 18 日 : <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/e-infrastructure/docs/hpc-report-final.pdf>
- 10) EUROPEAN COMMISSION 「Public-private partnerships in Horizon 2020 : a powerful tool to deliver on innovation and growth in Europe」、Brussels, 10. 7. 2013 COM (2013) 494 final
- 11) A Strategic Agenda for European Leadership in Supercomputing: HPC 2020 — IDC Final Report of the HPC Study for the DG Information Society of the European Commission
- 12) PRACE Special Report 「Supercomputers for all - The next frontier for high performance computing」、2013 年 10 月 10 日 : http://www.prace-ri.eu/IMG/pdf/prace_report_october_2013.pdf

..... 執筆者プロフィール



野村 稔

科学技術動向研究センター 客員研究官

企業にてコンピュータ設計用 CAD の研究開発、ハイパフォーマンス・コンピューティング領域、ユビキタス領域のビジネス開発に従事後、現職。スーパーコンピュータ、ビッグデータ、半導体技術、LSI 設計技術等の科学技術動向に興味を持つ。