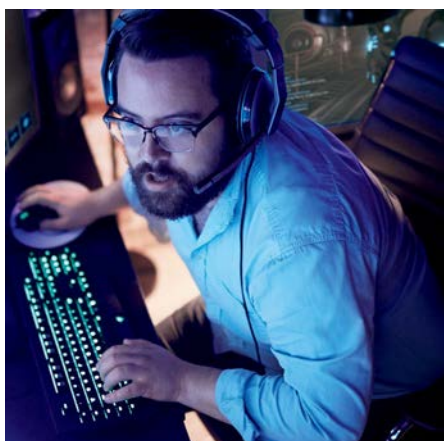


極超音速機の開発を加速する

インテル® Parallel Studio XE Cluster Edition、インテル® MPI ライブラリー
ハイパフォーマンス・コンピューティング



モスクワ物理工科大学は高速で高精度の計算流体力学ソフトウェアを作成

計算流体力学 (CFD) 分野は、次の 4 つの要素を持つ、現代の科学計算により発展が進んでいる分野の 1 つです。

- 解決する現実の問題
- 問題を表現する 1 セットの偏微分方程式 (数学的モデル)
- 数値計算法
- コンピューター

CFD の利用は物理的実験と理論的解析の両方を補足するもので、計算による実験と呼ばれることもあります。理論的な結果は、必然的に非常に単純な問題に制限されます。実際には、実験的な研究が主なアプローチです。しかし、これらの研究には長い時間と非常に多くのコストがかかります。また、多くの流体問題 (気象予測や高高度での宇宙船の動作など) は実験的に研究することはできません。

CFD シミュレーションから物理的な測定の実験の必要性を取り除くことはできませんが、実験の量と全体的なコストを大幅に減らすことはできます。一部のケースでは (例えば、高潮や化学物質流出を解析する場合)、コンピューター・シミュレーションが、流体を解析して予測的洞察を提供する唯一の実用的な方法になることもあります。CFD は、乱流のような流動現象の基礎的研究においても重要です。

コンピューター計算は、実験的なアプローチでは大きすぎたり、アクセスできない流れのシミュレーションを効率的に行うことができます。また、シミュレーションのほうが少ない労力と費用で必要な答えを得ることができる場合にも効果的です。例えば、コンピューターによるシミュレーションで、データセンターの温度特性を解析して、空気の流れをモデル化することができます。CFD ソフトウェアは、データセンターと HVAC システムのサイズ、容積、レイアウトに関する情報から、hotspot の特定や冷気が消費されている場所の確認に役立つ、回転して異なる角度から確認可能な 3D 数学的モデルを作成することができます。

要するに、CFD は、現代科学とエンジニアリングにとってますます重要になっているのです。



科学における計算流体力学の領域を急速に拡大

「インテル® Parallel Studio XE Cluster Edition のようなインテル® ソフトウェアを利用することにより、MIPT 研究所は、複雑な物理的流れのモデリングで複雑な計算問題を解く際に、優れた並列スケーラビリティを達成することができました。」

– ロシア科学アカデミー/MIPT
ドドロニチン計算センター
指導的研究者
Vladimir Titarev 博士

課題

シミュレーションで多くの次元 (3 つの空間次元および時間) を扱うため、CFD 解析の計算負荷は非常に高くなります。基礎偏微分方程式の複雑さ、対象の流れ (旅客機の上の流れなど) の複雑な幾何学を表すために必要なメッシュ解像度などの要因も含まれます。これはハイパフォーマンス・コンピューティングの領域です。

研究者は、複雑なシミュレーション・シナリオの正確な結果を迅速に生成する計算パッケージを設計する方法を常に求めています。CFD ソフトウェアに必要な要素は次のとおりです。

- 非常に複雑なシミュレーションの幾何学的な複雑性と非線形性を扱うのに十分な**汎用性**
- CFD シミュレーションの変更と拡張に対する**柔軟性**
- 簡単な変更により異なるコンピューター・プラットフォームで使用できる**可搬性**
- 最小の時間と計算リソースで答えを出す**効率性**

大学の研究所は、現在 CFD で最も進歩しているいくつかの研究の最先端に立っています。ロシアのドルゴプリドニにある、モスクワ物理工科大学の FlowModellium 研究所 (<http://www.flowmodellium.ru/en/> (英語)) もその 1 つです。

研究所の所長、Sergey V. Utyuzhnikov 教授は、応用数学、一般的な数値解析 (特に CFD) で著名な専門家です。2005 年から、英国マンチェスター大学の終身在職権を保有しています。10 年以上にわたり、MIPT の計算数学部で計算空気力学研究グループの

リーダーとして、多くの研究プロジェクトの研究責任者を務めています。

研究所の副所長は、CFD および並列計算分野の専門家である Vladimir Titarev 博士が務めています。指導的研究者としてロシア科学アカデミーのドドロニチン計算センターに入る前は、トレント大学 (2005-2007) および英国クランフィールド大学 (2007-2011) で勤めていました。

中央航空流体力学研究所 (TsAGI) には、I.V. Egorov 教授が率いる研究所の分室があります。

Utyuzhnikov 教授とチームは、流体物理学の理解を進め、実生活への適用をコントロールしています。ソフトウェア開発の観点から、このミッションの課題は次のとおりです。

- 単一コードのフレームワークに非常に異なるマルチフィジックス・ライブラリーを**統合**する
- マルチコアクラスター (現時点で最大 1,000 コア) の効率的な利用を**サポート**する
- 最新のインテル® ハードウェアを最大限に**活用**する¹

ソリューション

研究所の所員は、メッシュ生成、流れの視覚化、実際の流れソルバーのコードを含む、多くの計算流体力学アプリケーションを開発しました。後者のコードは、完全な範囲のレイノルズ数およびクヌーセン数での未来の宇宙船の高高度極超音速航空力学問題の数学的モデリングやラージ・エディィー・シミュレーション (LES) アプローチによる非定常乱流モデリングに利用されています。

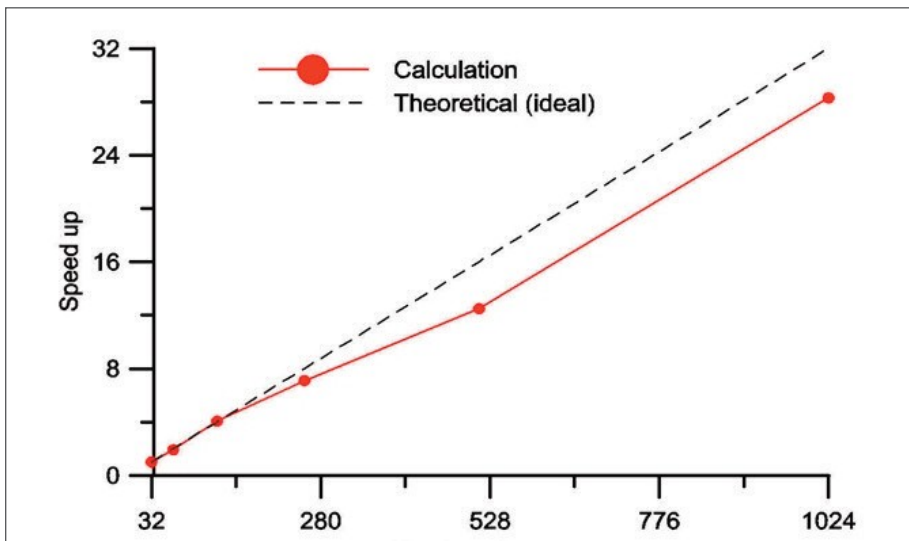


図 1. 流れソルバーコードはスケールした場合でも理論的な効率に近い

インテルは、トレーニングとセールスサポートを提供し、Email や個人的議論による技術支援を行いました。共同作業により開発された計算パッケージは、FlowModellium Solver として知られています。

「コードの卓越した特徴は、広範な極超音速機の流動様式に実際の非平衡物理学を含めた、正確で効率的な計算法の優れた組み合わせです。」(Utyuzhnikov 教授)

結果

「インテル® Parallel Studio XE Cluster Edition [旧製品名インテル® Cluster Studio XE] のようなインテル® ソフトウェアは、FlowModellium 研究所が複雑な物理の流れのモデリングで複雑な計算問題を解き、優れた並列スケーラビリティを達成するのに役立ちました。

圧縮性空気力学ソルバーは、500 万～5,000 万個のセルのメッシュを使用して、80 パーセント近い並列効率 (32 コアと比較) で、1,024 コアまで適切にスケールしました。この高い並列効率により、非常に制限されたタイムスケールの中でシリアル計算を実行することが可能になりました。」(Titarev 博士)

研究所の 2 つ目のコード、希薄気体力学シミュレーション用のボルツマン運動ソルバーは、512 個のインテル® Xeon®

プロセッサで 95 パーセント、1,024 個のインテル® Xeon® プロセッサで 70 パーセントの並列効率を達成します。²

ベンチマークは、ロモノソフ・モスクワ国立総合大学のスーパーコンピュータ (4 コアのインテル® Xeon® プロセッサを使用) と研究所のハイパフォーマンス・クラスター (12 コアのインテル® Xeon® プロセッサを使用) で実行されました。

この効率は、異なるツールを使用した試行錯誤の後に得られたものです。研究所の所員は当初、GNU* コンパイラ・コレクション (GCC)/GFortran のような別のコンパイラとフリーウェア版 MPICH のような別の MPI 実装 [並列計算用 MPI 通信プロトコル] を考えていました。しかし、最終的に、Microsoft* Visual Studio* 統合開発環境、インテル® Parallel Studio XE Cluster Edition、インテル® MPI ライブラリーの組み合わせが、開発および速度の点で最適であることが分かりました。

インテル® Parallel Studio XE は、アプリケーションのパフォーマンスを向上する並列処理コードの設計、開発、デバッグ、チューニングを単純化します。インテル® MPI ライブラリーは、複数のファブリックを備えたインテル® アーキテクチャー・ベースのクラスターでアプリケーションを柔軟に実行できるようにします。

MIPT について

モスクワ物理工科大学 (MIPT) は、ロシア連邦で有数の高等教育機関で、現代科学および工学のさまざまな分野で高い技能を持つ専門家を多く輩出しています。

気体媒体の非線形過程の数学的モデリング研究所は、ロシア政府が認可した補助金「ロシアの教育機関に指導的科学家を誘致する手段」(契約番号 11.G34.31.0072) の下で、2011 年に MIPT に設立されました。

研究所は、極超音速流、計算流体力学、宇宙船と CAD システムの設計の研究も行っています。研究所は、ロシア科学アカデミー、中央航空流体力学研究所 (TsAGI)、トレント大学 (イタリア)、マンチェスター大学 (英国)、ノースカロライナ州立大学 (米国)、その他の機関と積極的な協力を行っています。

インテル® Parallel Studio XE Cluster Edition のようなインテル® ソフトウェアを利用することにより、MIPT 研究所は、複雑な物理の流れのモデリングで複雑な計算問題を解く際に、優れた並列スケーラビリティを達成することができました。

結論

FlowModellium 計算パッケージおよび MIPT 研究所の取り組みは、高速で航行する飛行機や宇宙船のような未来の乗り物に焦点を合わせています。しかし、CFD ソフトウェアには、より現実的なアプリケーションもあります。流体/ガス流の定量的シミュレーションにより、研究/エンジニアリングの専門家は、次のことが可能になります。

- より快適で、安全で、エネルギー効率の高い生活/作業環境の**設計**
- 化学/石油産業機器およびプロセスの**産出量の最大化**
- 車両の空気力学の**改良**による性能と燃料効率の向上
- より**高精度**の気象予測や自然災害予知
- 放射線、汚染、その他の環境汚染物による健康リスクの**軽減**

多くの雑誌掲載や共同プロジェクトを通じて共有された MIPT チームの作業は、CFD のほかの分野での進歩を促進し、健康、燃料経済性、産業効率、経済活力などの向上に役立つでしょう。

インテル® Parallel Studio XE Cluster Edition

インテル® Parallel Studio XE ツールスイートは、アプリケーションのパフォーマンスを向上する並列処理コードの設計、開発、デバッグ、チューニングを単純化します。少ない労力で多くのアプリケーション・パフォーマンスを、互換性のあるインテル® プロセッサおよびコプロセッサで得ることができます。

インテル® MPI ライブラリー

インテル® MPI ライブラリーは、インテル® アーキテクチャー・ベースのクラスターでアプリケーションを柔軟に実行することに重点を置いています。インターコネクトを変更したり、新しいものにアップグレードした場合でも、ソフトウェアや動作環境に変更を加えることなく、ユーザー・パフォーマンスを素早く最大限に引き出すことができます。

関連資料

モスクワ物理工科大学:

<https://mipt.ru/en/> (英語)

インテル® Parallel Studio XE
Composer Edition/
Professional Edition/
Cluster Edition:
<https://www.isus.jp/intel-parallel-studio-xe/>

インテル® MPI ライブラリー:

<https://www.isus.jp/intel-mpi-library/>



¹ ターゲット・アーキテクチャー: インテル® Core™ i7-2600 プロセッサ, 4 コア, 24GB RAM, 3.40GHz. インテル® Xeon® プロセッサ (開発コード名: Sandy Bridge), 8 コア, 64GB RAM, 2.90GHz. インテル® Xeon® プロセッサ (開発コード名: Ivy Bridge), 12 コア, 64GB RAM, 2.90GHz. AMD® Bulldozer, 64 コア, 512GB RAM. MSU および RAS クラスターにはこのほかにも 4 コア/6 コアのインテル® Xeon® プロセッサを搭載。

² V.A. Titarev, M. Dumbser, S.V. Utyuzhnikov (敬称略) により公表された結果: Construction and Comparison of Parallel Implicit Kinetic Solvers in Three Spatial Dimensions. J. Comp. Phys. 2014. V. 256. pp. 17-33

インテル® テクノロジーの機能と利点はシステム構成によって異なり、対応するハードウェアやソフトウェア、またはサービスの有効化が必要となる場合があります。

実際の性能はシステム構成によって異なります。絶対的なセキュリティを提供できるコンピューター・システムはありません。詳細については、各システムメーカーまたは販売店にお問い合わせいただくか、<http://www.intel.co.jp/> を参照してください。

性能に関するテストに使用されるソフトウェアとワークロードは、性能がインテル® マイクロプロセッサ用に最適化されていることがあります。SYSmark® や MobileMark® などの性能テストは、特定のコンピューター・システム、コンポーネント、ソフトウェア、操作、機能に基づいて行ったものです。結果はこれらの要因によって異なります。製品の購入を検討される場合は、他の製品と組み合わせた場合の本製品の性能など、ほかの情報や性能テストも参考にして、パフォーマンスを総合的に評価することをお勧めします。詳細については、<http://www.intel.com/performance/> (英語) を参照してください。

インテルは、本資料で参照しているサードパーティーのベンチマーク・データまたは Web サイトの設計や実装について管理や監査を行っていません。本資料で参照している Web サイトまたは類似の性能ベンチマーク・データが報告されているほかの Web サイトも参照して、本資料で参照しているベンチマーク・データが購入可能なシステムの性能を正確に表しているかを確認されるようお勧めします。

この文書および情報は、インテルのお客様向けの参考情報として記載されているものであり、現状のまま提供され、明示されているか否かにかかわらず、いかなる保証もいたしません。ここにいう保証には、商品適合性、特定目的への適合性、知的財産権の非侵害性への保証を含みますが、これらに限定されるものではありません。本資料は、本資料に記述、表示、または記載されたいかなる知的財産権のライセンスも許諾するものではありません。インテル製品は、医療、救命、延命措置、重要な制御または安全システム、核施設などの目的に使用することを前提としたものではありません。

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Core、Xeon は、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。

* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

JPN/1707/PDF/XL/SSG/TT