

## マルチプラットフォーム上でのHPFコンパイラの評価

浅岡 香枝<sup>†</sup> 村井 均<sup>††</sup> 平野 彰雄<sup>†</sup> 岡部 寿男<sup>†</sup> 金澤 正憲<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 京都大学 学術情報メディアセンター,

<sup>††</sup> 海洋科学技術センター 地球シミュレータセンター

HPFで書かれたベンチマークコードを用いて、Fujitsu VPP、地球シミュレータ (ES) など複数のプラットフォーム上で、HPF/VPP、HPF/ES、および Adaptor の三つの HPF コンパイラを比較した。HPF 用のベンチマークスイートである HPFBench によるソースコードの文法レベルの互換性の評価に加え、著者らが開発した HPF 版 NPB (NAS Parallel Benchmark) のコードを用いた性能レベルでの互換性についても評価した。さらに、3次元流体コード Impact3D を用いた実用コードによる性能評価を行った。これを通じて、HPF の有効性と HPF コンパイラの課題を明らかにした。

## Evaluation of HPF Compilers on Multiple Platforms

Kae ASAOKA<sup>†</sup>, Hitoshi MURAI<sup>††</sup>, Akio HIRANO<sup>†</sup>, Yasuo OKABE<sup>†</sup>  
and Masanori KANAZAWA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University,

<sup>††</sup> Earth Simulator Center, Japan Marine Science and Technology Center

Three HPF compilers, Fujitsu HPF/VPP, NEC HPF/ES, and the Adaptor open-source HPF compiler, are compared on multiple platforms including Fujitsu VPP800 at Kyoto University and the Earth Simulator. Portability of HPF programs among them at the source-code level is discussed. HPFBench, an open source HPF benchmarking suite, is used for evaluation of syntactical conformance, and our NPB (NAS Parallel Benchmarks) implementation in HPF is used for evaluation of the compatibility of the performance. The Impact3D CFD simulation code is also utilized for comparison of effective performance. This intensive examination reveals the effectiveness of HPF and issues of HPF compilers.

### 1 はじめに

HPF (High Performance Fortran)[3] は、Fortran を拡張したデータ並列言語である。Fortran で書かれた逐次プログラムに最小限の指示行を付加して並列化することで、比較的容易に並列計算機の性能を引き出し、かつ、様々なプラットフォームへの移植が容易な高い可搬性をもつ並列プログラミング言語として設計された。HPF の言語仕様は、1992年に HPFF (High Performance Fortran Forum)[10] により検討が開始され、1993年に HPF 1.0、1997年に HPF 2.0 が標準化されている。

HPF 2.0 では、すべての処理系が実装すべき基本仕様と、公認拡張仕様 (approved extensions) と呼ば

れる必須でない拡張仕様が定義されている。さらにわが国の学術研究機関のアプリケーション研究者・開発者とスーパーコンピュータベンダ3社のコンパイラ開発者で構成された JAHPF[11] において HPF 2.0 の仕様が精査され、公認拡張仕様のうち実装すべきものを選別するとともに、HPF 2.0 に対する拡張仕様である HPF/JA 1.0 拡張仕様 [6] が 1999 年に定められた。HPF 2.0 および HPF/JA 1.0 仕様に準拠した HPF コンパイラとしては、NEC からは SX シリーズ用に HPF/SX、Fujitsu からは VPP800 および VPP5000 シリーズ用に HPF/VPP[2] が製品化されている。また、現時点で世界最大のスーパーコンピュータである地球シミュレータにおいても、HPF

コンパイラとして HPF/ES が利用可能であり、これを用いて実アプリケーションで得た高い性能が 2002 年 Gordon Bell 賞の実行性能部門言語賞を獲得 [9] するなど、HPF の有効性が改めて認識されてきている。

しかし、HPF における並列プログラミングは高いレベルで抽象化されており、プログラム上の並列可能な各実行文が実際にどのプロセッサでどのように並列実行されるかや、その際に必要となるデータ転送がどの時点でどのように行われるかについては、処理系の実装に依存している。HPF 2.0 基本仕様、HPF 2.0 公認拡張仕様、HPF/JA 1.0 拡張仕様のうちどこまで受け入れるかについても処理系間で差がありうる。文法上は互換性があっても、ある処理系で最も高速なコードが別の処理系でもそうかといういわゆる性能互換性については、なんら規定されていない。

そこで我々は、Fujitsu VPP や地球シミュレータをプラットフォームとし、HPF コンパイラとして HPF/VPP、HPF/ES、およびパブリックドメインの HPF 2.0 処理系である Adaptor [13] を対象として、ソースコードの文法レベルの互換性にとどまらず、性能レベルでの互換性についても評価することを試みた。まず、主として文法レベルの互換性の評価を行うために、HPF 用のベンチマークスイートである HPFBench [4] をとりあげた。ついで、我々が開発した HPF 版 NPB (NAS Parallel Benchmarks) のコード [1] を用いて性能レベルでの互換性や HPF/JA 拡張の有効性の評価を行った。さらに、3 次元流体コード Impact3D [7] を用いた実用コードによる性能評価を行った。

以下本稿では、評価の対象としたプラットフォームおよび HPF コンパイラについて概説し、次にベンチマークコードを用いて各コンパイラ間でのソースコード互換性および性能互換性について評価と考察を行う。

## 2 評価環境および対象

### 2.1 プラットフォーム

評価に用いたプラットフォームは以下の通りである。

**VPP** 京都大学学術情報メディアセンター Fujitsu VPP800/63 (以下 VPP と呼ぶ) は、63 台の PE

(Processor Element) がクロスバネットワークで結合された分散メモリ型並列計算機である。各 PE は 8GFLOPS のピーク演算性能を持つベクトル型プロセッサで、8GB の主記憶を持つ。

**ES** 海洋科学技術センター地球シミュレータセンターの地球シミュレータ [12] (以下 ES と呼ぶ) は、NEC によって開発された 640 台の計算ノード (PN: Processors Node) をクロスバネットワークで結合する分散メモリ型並列計算機である。各 PN は 8GFLOPS のピーク演算性能をもつベクトル型プロセッサ (AP: Arithmetic Processor) 8 台が 16GB の主記憶を共有する共有メモリ型並列計算機である。今回の評価では、各 AP に独立に MPI プロセスを起動して測定を行った。

**SPP** 京都大学学術情報メディアセンター Fujitsu GP7000F/M900 (以下 SPP と呼ぶ) は、CPU24 台と 24GB のメモリをクロスバネットワークで結合した共有メモリ型並列計算機である。各 CPU は、SPARC V9 アーキテクチャに準拠したスーパースカラ型プロセッサ SPARC64GP で、128KB の一次キャッシュ (命令キャッシュ 64KB、データキャッシュ 64KB) と 8MB の二次キャッシュを備えており、ピーク演算性能は 1.35GFLOPS である。

### 2.2 HPF コンパイラ

今回評価の対象とした HPF コンパイラは、NEC HPF/SX V2 [8] をベースに ES 用に開発された HPF/ES、Fujitsu VPP800 および VPP5000 用の HPF/VPP、GMD によって開発されたオープンソースでパブリックドメインの Adaptor いずれも HPF 2.0 [3] に準拠し、HPF/ES と HPF/VPP は HPF/JA 拡張仕様 [6] をサポートしている。なお、HPF/ES および Adaptor は MPI プログラムへのトランスレータとして実装されている。表 1 に、用いたコンパイラのバージョンおよびコンパイルオプションを示す。

## 3 HPFBench を用いた評価

まず、主として HPF の文法レベルの互換性を調べるための題材として、今回は、HPFBench [5] のうち diff-3D (3 次元拡散方程式)、gmo (一般化された地震揺動)、n-body (n 体問題) を取り上げた。HPFBench

表 1. コンパイラ、MPI ライブラリのバージョンおよびコンパイルオプション

platform	Compiler / MPI Library	Version	Option
VPP	HPF/VPP	V20L20 L01041	-Wh,-Owl,-Ldt,-Ol3,-parlib,-blas,-noremmap -O4 -Wv,-m3,-te
	Adaptor	Ver7.0	-Wa' -v -auto -vector -N -ddr'
	Fortran/VP	V20L20 L02091	-O4 -Wv,-m3,-te
	MPI Library	V20L20 L00011	---
ES	HPF/ES	Rev.1.9.3(765)	-Mkeepftn -Mextend -Minfo -Mstats
	Adaptor	Ver.7.0	-Wa' -v -auto -vector -N -ddr'
	Fortran	Rev.268 ES 11 2003/01/10	-C hopt -f3 -w
	MPI Library	Ver.6.5.13 (17. May 2002)	---
SPP	Adaptor	Ver.7.0	-Wa' -v -auto -novector -N -ddr'
	Fortran	Ver5.2.1	-Kfast.GP3
	MPI Library	Version6.0.1(D21)	---

表 2. HPFBench のコンパイル結果

(a) コンパイルの可否

	HPF/VPP	HPF/ES	Adaptor
計時等の共通ルーチン (common)	× (1,2,3)	○	× (4)
diff-3d	× (2,3)	○	○
gmo	× (3,5)	○	△ (5)
n-body(broadcast)	△ (6)	○	× (6)
n-body(cshift)	△ (6)	○	× (6)
n-body(cshift-sym)	△ (6)	○	× (6)
n-body(spread)	△ (6)	○	× (6)

(b) 修正が必要となった理由

1.	where 文の使用 (HPF/VPP では制限事項)
2.	system_clock, random_number, random_seed などの Fortran90 標準関数の使用 (HPF/VPP では制限事項)
3.	整合配列渡しの使用 (HPF/VPP では制限事項)
4.	sum_prefix 関数の引数に問題 (Adaptor 制限)
5.	distribute 指示の書式 (HPF 2.0 仕様を逸脱)
6.	変数名 dynamic の使用

については、開発者らにより Portland Group 社の HPF コンパイラである PGHPF[14] を用いた IBM SP2 での結果 [4] があるほか、NEC HPF/SX での結果も報告されている [8]。

HPFBench のベンチマークルールでは HPF 指示行に対する修正を許しているが、まずオリジナルのコードが “AS IS” でコンパイルできるかどうかについて検証を行った<sup>1</sup>。結果を表 2(a) に示す。○は基本的に修正なしでコンパイルができたもの、△は HPF 指示行に対する修正でコンパイルができたもの、×は Fortran で書かれているコードに何らかの修正が必要であったものを表す。それぞれ修正が必要となった理由を括弧内に番号で示し、簡単な説明を表 2(b) に与えた。

このように必要な修正を加えてコンパイルしたコー

<sup>1</sup>ただし、オリジナルのコードでの変数の宣言洩れ 1 箇所、重複した型宣言 1 箇所については、明らかなミスとして修正した上でテストした。

ドを各プラットフォームで実行させて性能を測定してみた。結果を表 3(a) に示す。HPF/VPP については、並列化の効果がまったくみられなかったため、表には掲載していない。

次に、HPF/VPP において並列化の効果が得られるよう、分散配列を common ブロックへ移動し、配列代入文を等価な FORALL 文に変換した上で、全ての並列化可能なループに対して independent 指示および on home 指示、local 指示を加えたコードを作成し、これを複数のプラットフォームとコンパイラの組み合わせで実行させた。結果を表 3(b) に示す。さらに、この過程で ES においてバンクコンフリクトによる性能低下が発生していることが判明したため、HPF/VPP 用のコードから配列のサイズを変更して比較を行った。ES および Adaptor においては、コンパイラによる最適化がより働くよう independent 指示および on home 指示、local 指示は抜いたものを用いた結果を表 3(c) に示す。

## 4 NPB を用いた評価

### 4.1 HPF/VPP 版 NPB

次に、我々が開発した HPF 版の NAS Parallel Benchmarks のコードを用いて、性能レベルの互換性の評価を行った。用いたコードは、Applied Parallel Research 社が公開している HPF 実装版の NAS Parallel Benchmarks[15] を、HPF2.0 および HPF/JA 拡張仕様に対応させるように、HPF/VPP を用いて移植したもの [1] である。今回は、ベンチマークコードのうちの EP、FT、BT、SP の 4 つを扱った。

このコードでは、HPF/VPP において最も効果的に並列化がなされるように、全ての並列化ループについて、independent 指示文と new 節に全てのプラ

表 3. HPFBench の測定結果

(a) オリジナルコード

benchmarks	platform	compiler	HPF/1	HPF/2	HPF/4	HPF/8	HPF/16
diff-3d	VPP	Adaptor	1.17	0.84	0.57	0.72	0.41
	ES	HPF/ES	16.55	16.94	12.91	8.81	7.51
	SPP	Adaptor	22.81	12.96	3.36	1.86	1.01
gmo	VPP	Adaptor	3.00	2.27	2.40	2.14	1.96
	ES	HPF/ES	7.33	3.68	1.85	0.93	0.45
	SPP	Adaptor	3.58	3.27	2.92	2.30	2.02
n-body(broadcast)	VPP	Adaptor	97.06	50.70	27.70	16.53	11.11
	ES	HPF/ES	2.83	1.89	1.43	1.26	1.84
	SPP	Adaptor	160.42	83.09	33.17	13.73	7.17
n-body(cshift)	VPP	Adaptor	149.37	76.55	40.08	21.84	12.34
	ES	HPF/ES	5.57	3.11	1.76	1.09	0.83
	SPP	Adaptor	183.45	82.58	44.12	17.18	7.29
n-body(cshift-sym)	VPP	Adaptor	125.82	64.11	33.23	17.61	9.59
	ES	HPF/ES	4.54	2.48	1.32	0.81	0.51
	SPP	Adaptor	144.43	71.85	37.40	17.68	5.63
n-body(spread)	VPP	Adaptor	97.06	50.69	27.74	16.52	11.17
	ES	HPF/ES	4.09	2.45	1.66	1.37	1.92
	SPP	Adaptor	156.78	79.51	33.20	13.70	7.17

(b) diff-3d (HPF/VPP 向けにチューニングしたもの)

benchmarks	platform	compiler	HPF/1	HPF/2	HPF/4	HPF/8	HPF/16
diff-3d	VPP	HPF/VPP	11.80	5.95	3.06	1.55	0.79
	VPP	Adaptor	98.26	56.78	29.37	8.86	3.22
	SPP	Adaptor	222.81	33.17	17.02	9.46	5.24
	ES	HPF/ES	27.80	14.05	7.08	3.57	1.81

(c) diff-3d (配列サイズを変更し各プラットフォーム向け最適化)

benchmarks	platform	compiler	HPF/1	HPF/2	HPF/4	HPF/8	HPF/16
diff-3d	VPP	HPF/VPP	11.822	5.934	3.037	1.544	0.787
	VPP	Adaptor	2.691	1.625	1.461	1.461	1.359
	SPP	Adaptor	44.246	20.195	10.734	5.891	3.422
	ES	HPF/ES	0.569	0.519	0.275	0.154	0.094

イベート変数を記述、および on 指示文で計算処理の分割軸を明示的に指定し、さらに、プロセッサ内に閉じたアクセスになる部分は、resident 指示文と HPF/JA 拡張である local 指示文で明示している。

HPF/VPP と HPF/ES では、どちらも HPF/JA 拡張仕様をサポートしているが、実装上の違いがあり、HPF/VPP 版 NPB を HPF/ES で実行させるにあたって以下の 2 点で修正が必要であった。一つは、HPF/ES では local 指示が on 指示文に付属の local 節としてしか指定できないという制限によるもの、もう一つは reduction 指示された変数に対して重複して local 指示を指定したときの挙動が異なることによるものである。

## 4.2 性能評価

問題サイズを CLASS=A として、各プラットフォームと HPF コンパイラの組み合わせでの測定結果を表 4 から表 7 に示す。経過時間の測定には、HPF/VPP では、サービスサブルーチンの fjhpf\_gettod を用

い、それ以外は、system\_clock を用いた。

表 4 から表 7 の「F90」は、それぞれのプラットフォームで標準の Fortran コンパイラによりコンパイルし 1 プロセッサで実行させたときの結果であり、また、HPF/1 から HPF/16 は、各 HPF コンパイラでコンパイルし、それぞれのプロセッサ数で実行させた結果である。上段は実行時間を秒単位で示しており、下段の括弧内の数字は、F90 と HPF/1 の実行結果のうち速い方の実行時間を 1 とした場合の加速率を示している。

なお、BT、SP では、Adaptor の 1 プロセッサでの実行が実行時エラーとなった<sup>2</sup>。また FT、BT、SP の VPP の F90 は、forall 文を単純な do ループに変換することを指示するコンパイルオプション -Ksimple.loop を指定して実行した (表中\*1)。

<sup>2</sup>メモリの不足などが考えられるが原因は調査中である。

## 5 Impact3D による評価

3次元流体シミュレーションの実用コード Impact3D の HPF 実装 [9] を HPF/VPP 用に移植したものを<sup>3</sup>を、複数のプラットフォームとコンパイラの組み合わせで性能測定した結果を表 8 に示す。測定に使用した問題サイズが  $nx=ny=nz=128$  であったことにより F90 および HPF/1 の一部では配列参照でバンクコンフリクトによる性能低下が発生していたため、宣言する配列サイズを変更した(表中\*2)。

## 6 考察とまとめ

ベンチマークコードを用いて、複数のプラットフォーム上で HPF コンパイラの比較評価を行った。

3章の結果のように、現時点ではコンパイラ間で文法レベルの互換性すら完全ではない。ただここで見つかったような文法上の非互換や制限事項は、ユーザにより比較的容易に対処できるものであるし、コンパイラの成熟が進めば近い将来に解消されるものであると考えられる。

一方、3章の diff-3d および 4章の NPB における結果から、性能互換性については大きな課題があることが明らかである。たとえば diff-3d のオリジナルのコードは HPF/VPP では全く性能が得られず、また逆に HPF/VPP 用にチューンしたコードは、Adaptor においては大きな性能低下を起こしている。5章で示されるように、それぞれのプラットフォームおよびコンパイラに合わせてチューニングを行えば、実用コードにおいて HPF によりどの組み合わせでも満足できる性能が得られることは対照的である。

このような状況から、ユーザがプログラミングやチューニングを行う際、あるいはコンパイラ開発者のコンパイラを改良しようとする際の、指針となる HPF コード例が不足していることが、一つの問題ではないかと考えられる。今回とりあげた HPFbench や NPB のような標準的なベンチマークコードの完成度を高め、すべてのコンパイラの互換性の検証や改善提案に用いられるようにするとともに、広くユーザに対するプログラミングの教材にもなるようにしていくことが望まれる。

今後の課題として、より多くのプラットフォームおよびコンパイラを用いた評価が必要である。ベンチマークコードとして NPB3.0 alpha[16] に含まれる

HPF 実装のコードを用いて評価することも考えている。また今回は、経過時間のみを尺度として比較を行ったが、メモリの使用量や時間性能とのトレードオフに焦点をあてた比較も行いたい。

**謝辞** HPF/VPP 版 Impact3D のソースコードをご提供いただいた、姫路工業大学の坂上仁志助教授に感謝します。地球シミュレータでのデータ測定のご協力いただいた、海洋科学技術センター地球シミュレータセンターの秦万美子女士に深謝します。なお、地球シミュレータにおける性能評価は、平成 14 年度地球シミュレータ利用研究課題「並列処理言語 HPF (HighPerformance Fortran) を用いた大規模並列実行の性能検証および新規機能の検討」による。

## 参考文献

- [1] Asaoka, K., Hirano, A., Okabe, Y., Kanazawa, M.: Evaluation of the HPF/JA Extensions on Fujitsu VPP Using the NAS Parallel Benchmarks, ISHPC2002(2002).
- [2] 富士通株式会社: UXP/V HPF 使用手引書 V20L20 L01041 用 J2U5-0450-01 (2001).
- [3] High Performance Fortran Forum: High Performance Fortran Language Specification, version 2.0, <http://dacnet.rice.edu/Depts/CRPC/HPFF/versions/hpf2/hpf-v20/> (1997)
- [4] Hu, Y.C., Jin, G., Johnson, S.L., Kehagias, D., Shalaby, N.: HPF Bench: A High Performance Fortran Benchmark Suite, ACM Transactions on Mathematical Software (2000)
- [5] Hu, Y.C, et. al.: HPFBench: A High Performance Fortran Benchmark Suite, <http://www.cs.rice.edu/ychu/hpfbench> (2001)
- [6] Japan Association for High Performance Fortran: HPF/JA Language Specification, version 1.0, <http://www.hpfp.org/jahpf/> (1999)
- [7] Mizuno, T., Sakagami, H, Murai, H.: Capability Comparison between Japanese HPF compilers using Scientific Applications, HUG2000 (2000)
- [8] Murai, H., Araki, T., Hayashi, Y., Suehiro, K., Seo, Y.: Implementation and Evaluation of HPF/SX V2, Concurrency and Computation: Practice and Experience, Vol. 14, pp. 603-629 (2002).
- [9] Sakagami, H., Murai, H., Seo, Y., Yokokawa, M.: 14.9 TFLOPS Three-dimensional Fluid Simulation for Fusion Science with HPF on the Earth Simulator, SC2002 (2002).
- [10] <http://www.crpc.rice.edu/HPFF/>
- [11] <http://www.hpfp.org/jahpf/>
- [12] <http://www.es.jamstec.go.jp/esc/jp/>
- [13] <http://www.gmd.de/SCAI/lab/adaptor/>
- [14] <http://www.pgroup.com/products/pghpfindex.htm>
- [15] <ftp://ftp.infomall.org/tenants/apri/Benchmarks/>
- [16] <http://www.nas.nasa.gov/Software/NPB/>

<sup>3</sup>姫路工業大学の坂上仁志氏の提供による。

表 4. EP の実行時間 (秒) と加速率

platform	compiler	F90	HPF/1	HPF/2	HPF/4	HPF/8	HPF/16
VPP	HPF/VPP	<b>27.79</b> (1.00)	29.39 (0.94)	14.73 (1.88)	7.38 (3.76)	3.69 (7.52)	1.84 (15.04)
	Adaptor		27.77 (1.00)	13.89 (2.00)	6.94 (4.00)	3.47 (7.99)	1.73 (16.02)
ES	HPF/ES	<b>12.22</b> (1.00)	13.12 (0.93)	6.62 (1.84)	3.28 (3.72)	1.65 (7.40)	0.82 (14.90)
	Adaptor	(0.91)	<b>11.16</b> (1.00)	5.58 (2.00)	2.79 (4.00)	1.40 (7.97)	0.70 (15.94)
SPP	Adaptor	<b>201.02</b> (1.00)	205.05 (0.98)	103.11 (1.94)	51.58 (3.89)	25.80 (7.79)	12.91 (15.56)

表 5. FT の実行時間 (秒) と加速率

platform	compiler	F90	HPF/1	HPF/2	HPF/4	HPF/8	HPF/16
VPP	HPF/VPP	<b>153.28</b> (1.00)	166.71 (0.91)	83.40 (1.83)	41.68 (3.67)	20.86 (7.34)	10.45 (14.66)
	Adaptor		165.80 (0.92)	87.02 (1.76)	43.23 (3.54)	21.64 (7.08)	10.87 (14.09)
ES	HPF/ES	<b>91.77</b> (1.00)	97.20 (0.94)	48.99 (1.87)	24.73 (3.71)	12.48 (7.35)	6.34 (14.47)
	Adaptor		98.33 (0.93)	51.33 (1.78)	25.44 (3.60)	12.93 (7.09)	6.49 (14.14)
SPP	Adaptor	<b>141.39</b> (1.00)	267.76 (0.52)	197.52 (0.71)	77.82 (1.81)	36.89 (3.83)	14.20 (9.95)

表 6. BT の実行時間 (秒) と加速率

platform	compiler	F90	HPF/1	HPF/2	HPF/4	HPF/8	HPF/16
VPP	HPF/VPP	<b>992.63(*1)</b> (1.00)	993.39 (0.99)	500.11 (1.98)	259.92 (3.81)	133.89 (7.41)	75.45 (13.15)
	Adaptor		実行時エラー	1120.00 (0.88)	579.46 (1.71)	281.01 (3.53)	142.04 (6.98)
ES	HPF/ES	<b>144.70</b> (1.00)	305.40 (0.47)	153.80 (0.94)	80.30 (1.80)	41.10 (3.52)	21.30 (6.79)
	Adaptor		実行時エラー	434.77 (0.33)	228.76 (0.63)	118.51 (1.22)	65.40 (2.21)
SPP	Adaptor	<b>1525.40</b> (1.00)	実行時エラー	1141.60 (1.33)	573.19 (2.66)	284.11 (5.36)	147.74 (10.32)

表 7. SP の実行時間 (秒) と加速率

platform	compiler	F90	HPF/1	HPF/2	HPF/4	HPF/8	HPF/16
VPP	HPF/VPP	<b>633.99(*1)</b> (1.00)	705.50 (0.89)	343.06 (1.84)	173.33 (3.65)	90.45 (7.00)	52.20 (12.14)
	Adaptor		実行時エラー	1016.30 (0.62)	524.11 (1.20)	242.88 (2.61)	124.17 (5.10)
ES	HPF/ES	<b>45.75</b> (1.00)	85.77 (0.53)	50.62 (0.90)	27.36 (1.67)	14.28 (3.20)	7.33 (6.24)
	Adaptor		実行時エラー	591.23 (0.07)	291.86 (0.15)	155.22 (0.29)	88.10 (0.51)
SPP	Adaptor	<b>1500.60</b> (1.00)	実行時エラー	1547.60 (0.96)	736.82 (2.03)	360.25 (4.16)	197.41 (7.60)

表 8. Impact3D (nx=ny=nz=128) の実行時間 (秒) と加速率

platform	compiler	F90	HPF/1	HPF/2	HPF/4	HPF/8	HPF/16
VPP	HPF/VPP	<b>15.28(*2)</b> (1.00)	27.08(*2) (0.56)	13.85 (1.09)	7.06 (2.15)	3.63 (4.17)	2.04 (7.43)
	Adaptor		57.5 (0.26)	28.93 (0.52)	14.78 (1.02)	7.39 (2.05)	3.79 (4.00)
ES	HPF/ES	<b>17.22</b> (1.00)	19.31 (0.89)	9.85 (1.75)	5.03 (3.42)	2.58 (6.67)	1.32 (13.05)
	Adaptor		50.34 (0.34)	25.44 (0.68)	13.07 (1.32)	6.79 (2.54)	3.62 (4.76)
SPP	Adaptor	1283.28(*2) (0.46)	<b>601.62(*2)</b> (1.00)	287.62 (2.09)	141.44 (4.25)	70.56 (8.53)	33.11 (18.17)