サイエンティフィック・システム研究会
科学技術計算分科会 第1回会合資料

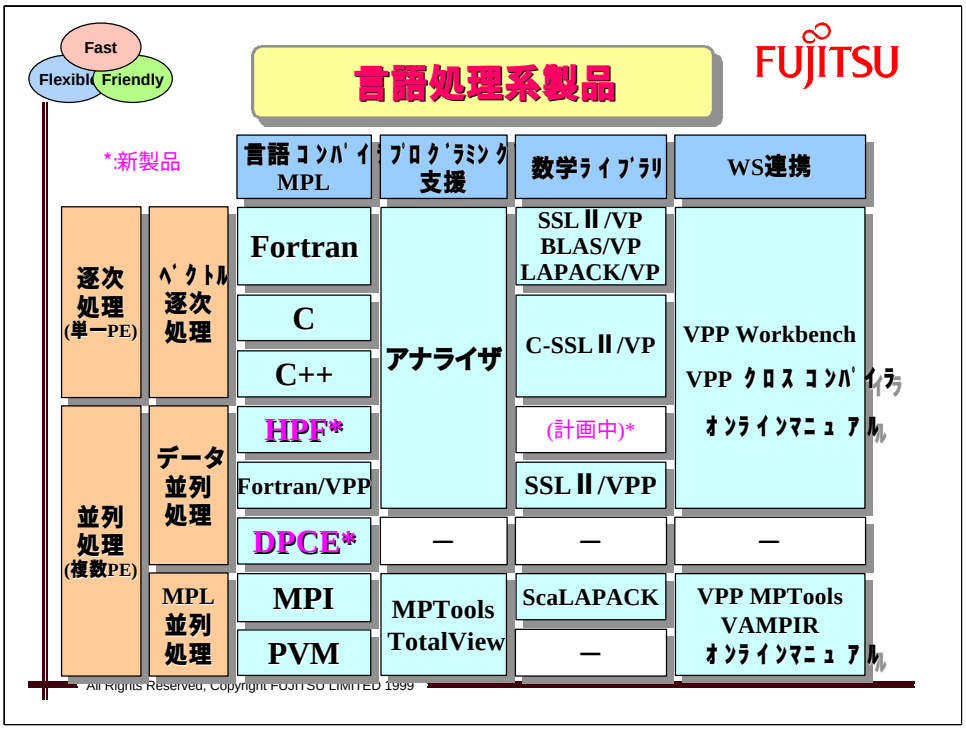
1999年8月20日

VPP800/VPP5000の 言語処理系について(報告)

富士通株式会社
ソフトウェア事業本部HPCソフトウェア統括部
大和田 明
oowada@lp.nm.fujitsu.co.jp

All Rights Reserved, Copyright FUJITSU LIMITED 1999

本稿では、VPP800/5000向けの言語処理系について、新機能および強化ポイントを中心に、ご報告します。



VPP800/5000の言語処理系は、従来のVPP言語処理系との互換を維持しつつ、より一層の高速化、多様なプログラミング環境への対応および使い易さの向上を実現しました。

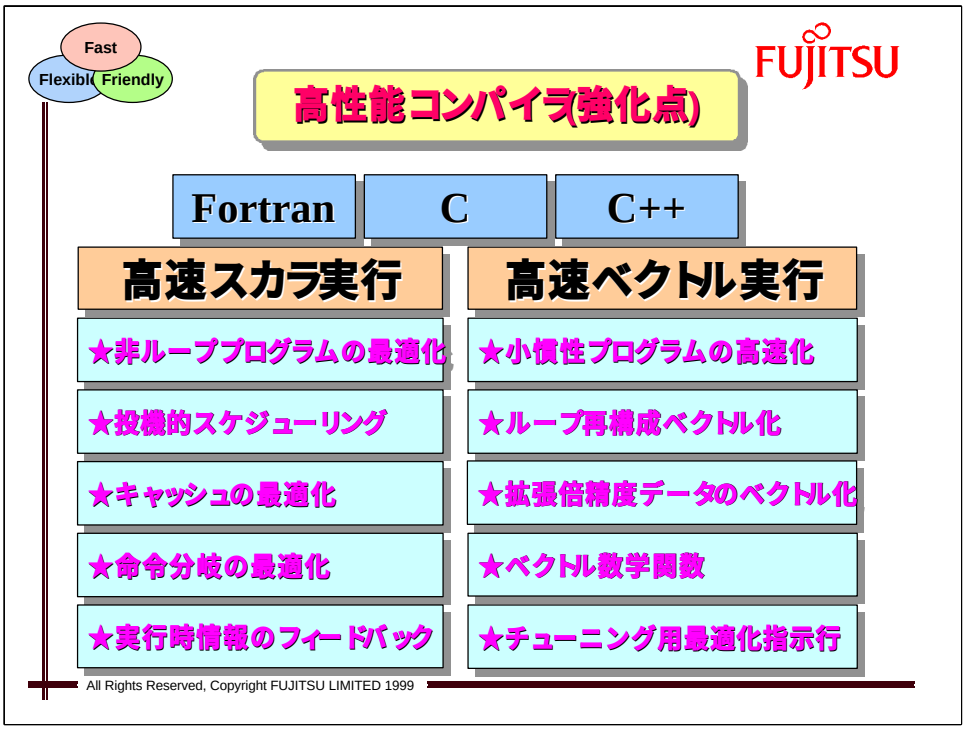
言語コンパイラおよびメッセージパシングライブラリ(MPL)

逐次系として、Fortran,C,C++、並列系としてVPP Fortranに加えて、業界標準のデータ並列言語処理系 HPFおよびDPCEを提供します。MPL系として、MPIおよびPVMを引き続き提供します。

これらの言語処理系は、64ビットアドレシングでの実行をサポートし、さらに性能、機能追加を行っています。また、従来通り、32ビットアドレシングでの実行も可能です。

数学ライブラリ、プログラム支援／WS連携機能

言語コンパイラおよびMPL処理系に合わせて、関連する数値計算ライブラリとプログラム支援環境／WS連携機能を提供します。



新しいVPPのアーキテクチャを最大限に活かして、高速スカラ実行および高速ベクトル実行を実現しています。

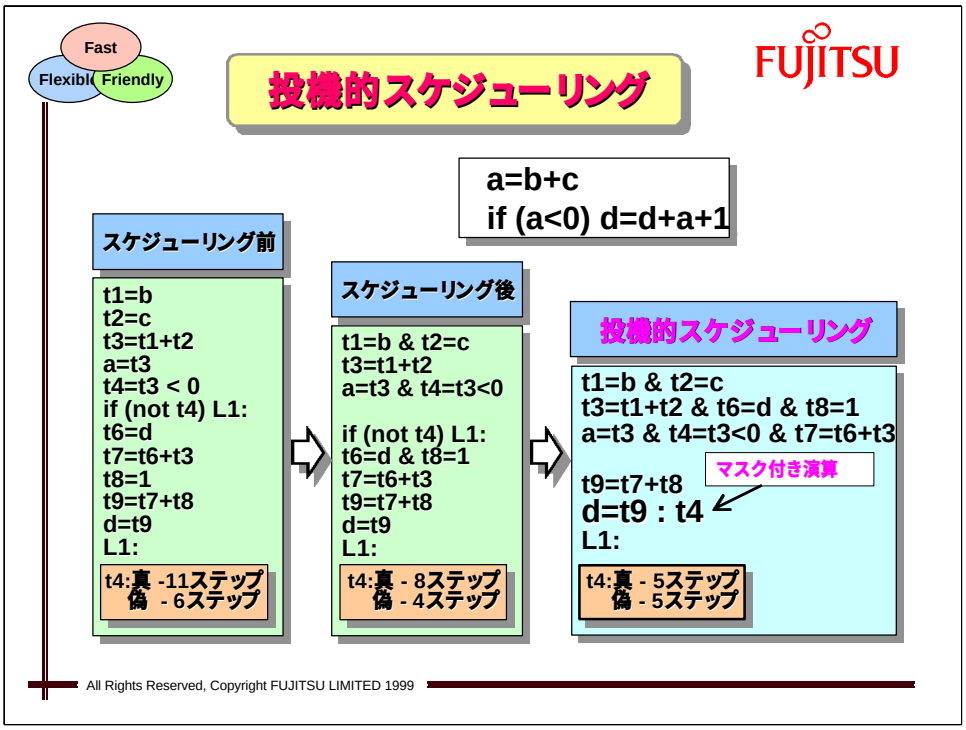
高性能スカラ実行

VLIW RISCプロセサ向けの最新最適化技術を駆使し、特に、投機的スケジューリング、キャッシュ利用の最適化、命令分岐の最適化、実行時情報のフィードバックなどの最適化技術を適用することにより、ベクトル化による高速化が困難なプログラムに対しても、高い性能を実現しています。

高性能ベクトル実行

従来からの高いベクトル化能力に加えて、ループ再構成ベクトル化技術を導入し、高性能が困難とされていた小慣性プログラム(短ベクトル長、小演算数ループからなるプログラム)の高速化を実現しました。

さらに拡張倍精度データ(16バイト実数、32バイト複素数、8バイト整数)のベクトル化を実現し、すべてのデータ型での高速ベクトル実行を実現しています。また、ベクトル数学関数やチューニング用最適化指示行の強化を行いました。

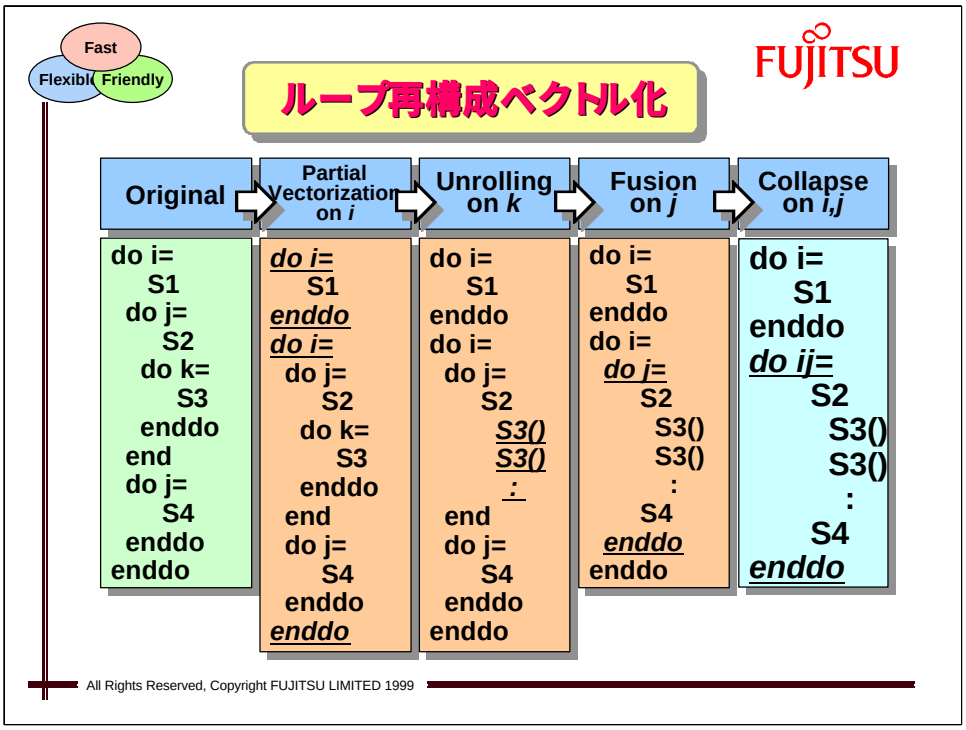


高速スカラ実行のため重要な技術である、投機的スケジューリングについて説明します。

VLIW型のスカラアーキテクチャでは、命令を並列実行させることが、性能向上につながります。従来のVPPシステムでは、分岐命令があると、それ以上の最適化ができませんでした。(真ん中の例)

VPP800/5000では、分岐があっても最適化(命令スケジューリング)を可能としました。すなわち、分岐する方と分岐しない方の2つのパスをどちらも実行し、条件分岐が確定した時点で、外れた方のパスを捨てて、正しい方のパスだけの実行を継続します。(このための命令として、マスク付き演算が新しくサポートされました。)

この際、実行確率が高い(と判断した)方のルートの高速化を優先させて最適化します(右側の例)。この技法が投機的スケジューリングです。なお、どのルートを優先させるかは、翻訳時指示行で与えることもできます。



高速ベクトル実行の重要な技術である、ループ再構成ベクトル化について説明します。

本技術は、ベクトル演算が可能な部分の認識を高めて、小慣性プログラム(ベクトル長が短い／ループ内演算数が少ない)についても、高速ベクトル実行を実現するものです。

図に示すように、部分ベクトル化、ループアンローリング、ループ融合等の個々のループ再構成技法を強化し、従来システムではベクトル化が限界となるようなプログラムについてもベクトル化を可能としました。

この結果、ループの回転数(ベクトル長)および演算密度(数)が向上し、ベクトル化による性能効果がでるようになります。

このようにあらゆる可能性をベクトル最適化では駆使しており、当社のこれまでのベクトル最適化技術を集大成して、一層の高速化を実現しています。

Fast
Flexibl Friendly

単一プロセッサ処理性能

FUJITSU

単一プロセッサ実行での世界最高速を達成!

	VPP800	VPP5000 (SSRAM)	備　考
LINPACK100 (MFLOPS)	813M	1,125M	他社最高値: 705 (CRAY T94)
LINPACK1000 (MFLOPS)	7,091M	8,759M	他社最高値:7,219 (NEC SX-5)

出典 : Linpackレポートより(1999年7月22日現在)
NEC News Releaseより(1999.1.19)

All Rights Reserved, Copyright FUJITSU LIMITED 1999

R&D分野の代表的なベンチマークプログラムであるLINPACKについて、単一プロセッサ上での実測結果を報告します。LINPACKプログラムは、次の特徴があります。

LINPACK100元

小規模な問題での性能指標を示し、ベクトル機では、スカラ性能と短ベクトル性能がキーポイント

LINPACK1000元

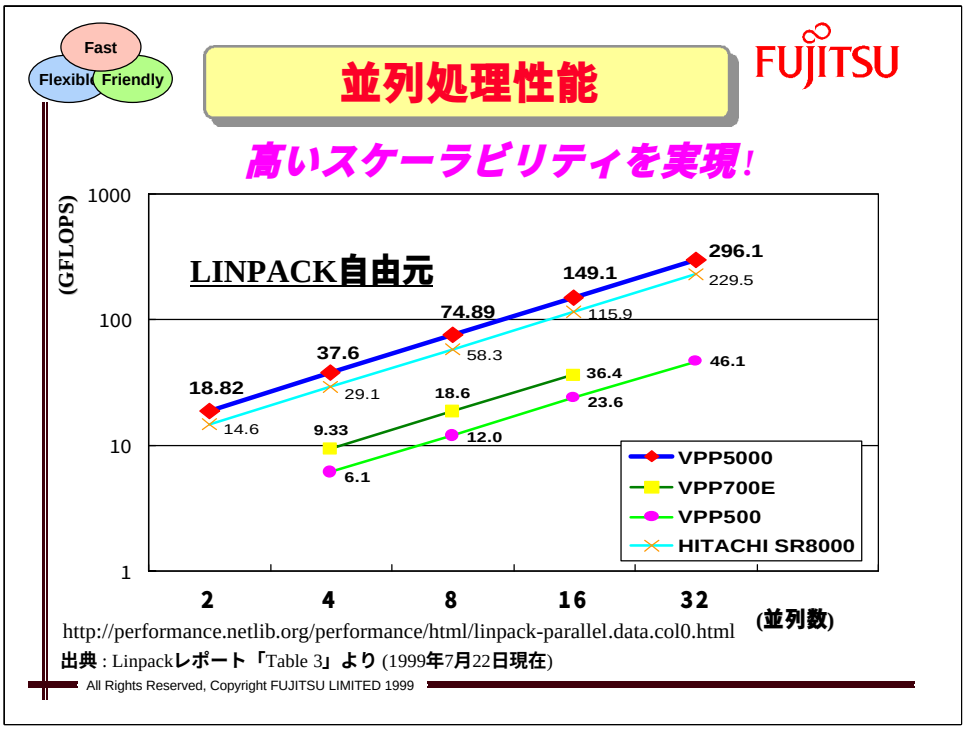
中規模以上の問題での性能指標

LINPACK100元および1000元の実測結果は、

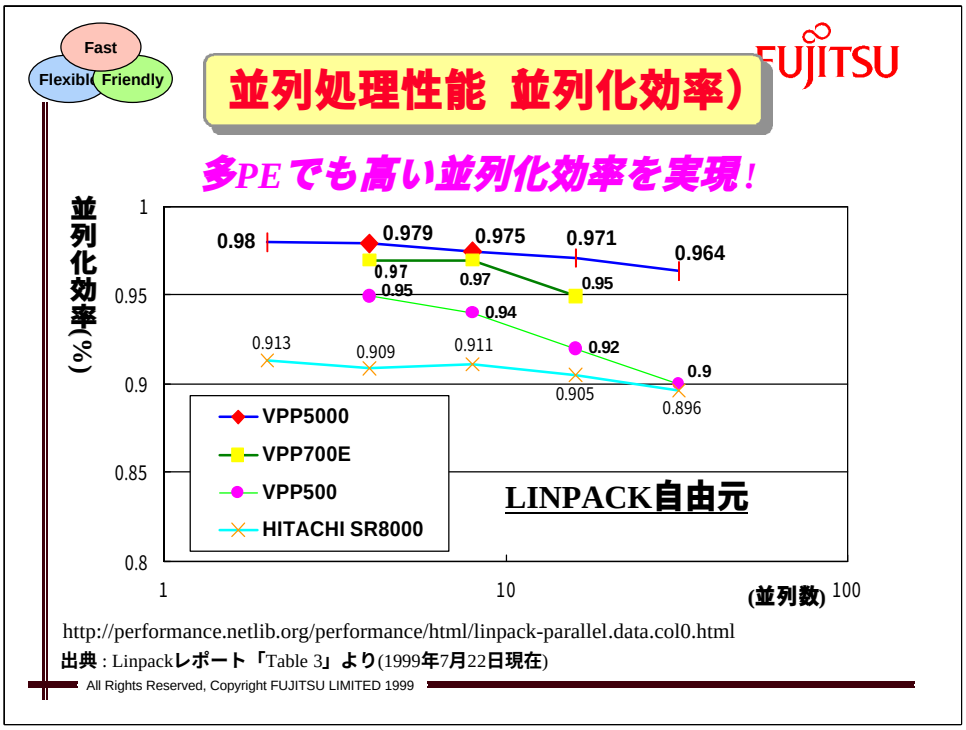
VPP800	VPP5000	
813MFLOPS,	1,125MFLOPS	(LINPACK　100元)
7,091MFLOPS,	8,759 MFLOPS	(LINPACK 1000元)

であり単一プロセサでの世界最高速を達成しました。

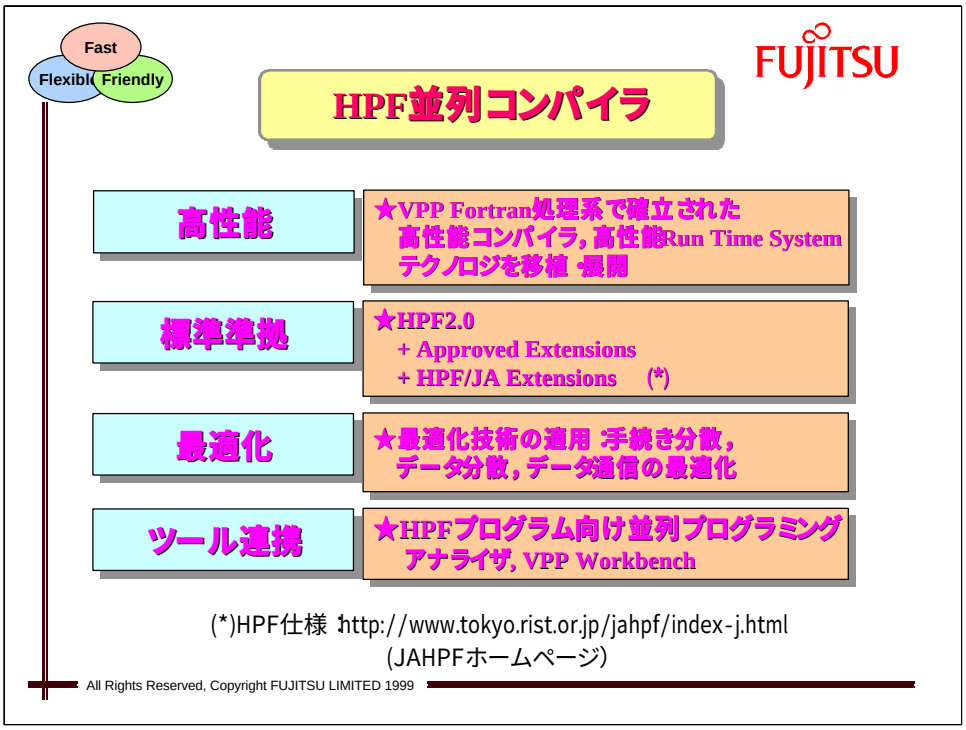
VPP800/5000向けに強化した高速化技術の成果が現れています。



LINPACK自由元による並列処理性能は、図に示すように、プロセッサ数の増加に対し高いスケーラビリティを保持し、VPP5000(32PE)で296.1GFLOPSを達成しました。



LINPACK自由元の並列処理性能を、並列化効率(最大理論性能値に対する実績性能比)の観点からグラフ化したのが上図です。多PEでも高い並列化効率を実現しています。



HPFコンパイラを新しく提供します。本製品の特長は次の通りです。

<u>標準準拠</u>

HPF2.0仕様および実用性を強化したHPF/JA仕様に準拠した、高い移植性を保持した並列プログラムが記述できます。

なお、HPF仕様はJAHPF(Japan Association for HPF)の以下のURLより入手可能です。(SS研ホームページからもリンクされています。)

http://www.tokyo.rist.or.jp/jahpf/index-j.html

<u>高性能・最適化</u>

VPP Fortranで蓄積した手続き分割、データ分散、データ通信の最適化技術等の実装技術を採用し発展させて、高速化を実現しています。

また、Fortranコンパイラのベクトル化機能、スカラ最適化機能を利用することができます。

<u>プログラム開発支援ツール</u>

HPFプログラムのデバッグやチューニングの支援機能を備えています。

当社のMPIは、最新のMPI規格であるMPI2.0に準拠し、VPP800/5000向けに、性能および操作性を強化しました。

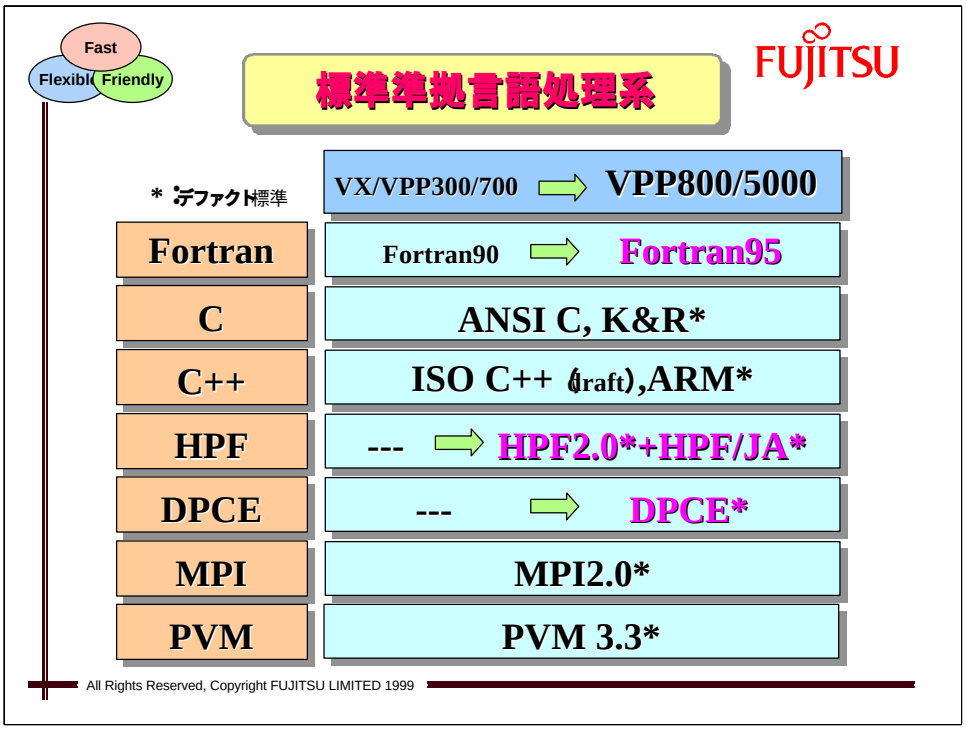
性能強化

VPPシリーズの高速・低レイテンシーなデータ転送機構を活用して、従来システムに比べて性能を強化、世界最高レベルの高速性を実現しました。また、使用プロセッサ数に比例した性能スケーラビリティを実現しました。

操作性強化

高価なPEをより効果的に使うために、MPIマスタPEを使わずに動的なプロセス生成を可能としました。また、一旦使い終わったPE(子プロセスが終了して開放されたPE)を、再度、動的プロセス生成時に利用できるようにしました。

また、1PEに4プロセスまで生成できるのも、実PE数が少ない時や、デバッグ利用時の利便性を高めるものと考えています。



VPP言語処理システムは、国際言語規格またはデファクト標準に準拠しています。VPP800/5000では、Fortranの最新規格をサポートし、また、HPFおよびDPCEという新しい言語をサポートしました

Fortran： Fortran95に準拠。Fortran95は、従来のFORTRAN77およびFortran90を包含する最新の規格です。

C　　：ANSI-C言語規格およびK&R仕様に準拠

C++　：ISO C++規格（ドラフト）およびデファクト標準のARM仕様に準拠

HPF　：分散メモリ型並列計算機向けのデファクト仕様HPF2.0および実用性を強化するために制定されたHPF/JA仕様に準拠

DPCE　：分散メモリ型並列計算機向けにC言語を拡張したDPCE仕様（Data Parallel C Extensions;1994年　ANSI-X3J11で承認）に準拠

MPI　：MPIの最新仕様 MPI2.0に準拠

PVM　：世界で最も普及しているPVM 3.3仕様に準拠

ベクトル逐次処理および並列処理(データ並列、MPL並列)向けに多様な数学ライブラリを提供します。VPP800/5000向けには、一層の性能強化と機能強化を実現しました。

性能強化

最新の洗練された高速ベクトル/並列アルゴリズムを採用し、高速性および大規模問題への適用を考慮にいれた安定性を実現しました。

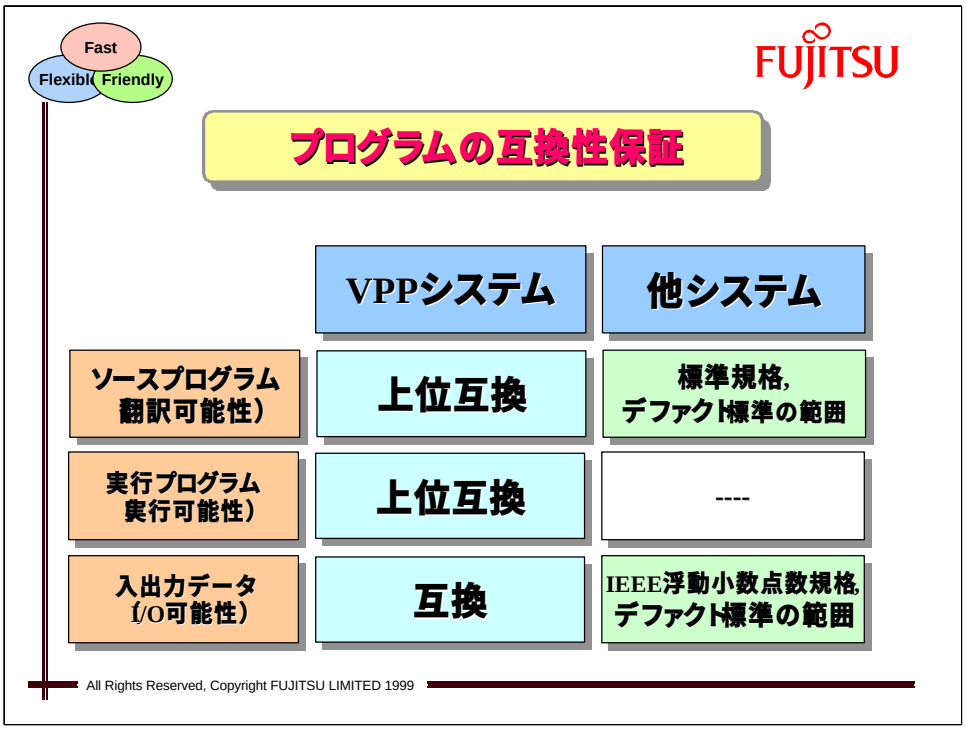
SSL II/VP,BLAS/VPは、線型代数(マトリックス)演算性能を強化（新VPPのアーキテクチャ向けにチューニング）しました。

機能追加

C-SSL II/VPは、Fortran SSL II/VPの機能範囲のキャッチアップを今回実現しました。SSL II/VP、SSL II/VPPについては、正規乱数（高速版）、スパース連立一次方程式（BiCGSTAB法）などを追加しました。

ScaLAPACKは、最新仕様のV1.6をサポートしました。

なお、HPFから呼び出し可能なSSLは、今後ご提供予定です。



VPP従来システムとの互換性

VX/VPPシリーズで動作していたプログラムは、ソースプログラムおよびロードモジュールともに、VPP800/5000上で動作します。入出力データも、同様に互換があります。

他システムとの互換性

言語規格(国際規格、デファクト標準仕様)の範囲内で記述されたソースプログラムであれば、ソース互換があります。ロードモジュールの互換は、ありません。

入出力データの互換性は、VPPシリーズでは、文字セットはASCIIコード系、浮動少数点数はIEEE形式を採用しており、その範囲内で基本的な互換があります。

VPP800/5000でのプログラミング支援環境の強化ポイント(狙い)は、二つあり、一つは実運用局面でのデバッグ、チューニング機能の強化。もう一つは、従来からのFortran,C,VPP Fortranに加えて、C++,HPFを含めた必要な開発環境の提供です。

チューニング機能

ＨPFプログラミングを支援する、静的解析機能をサポートしました。

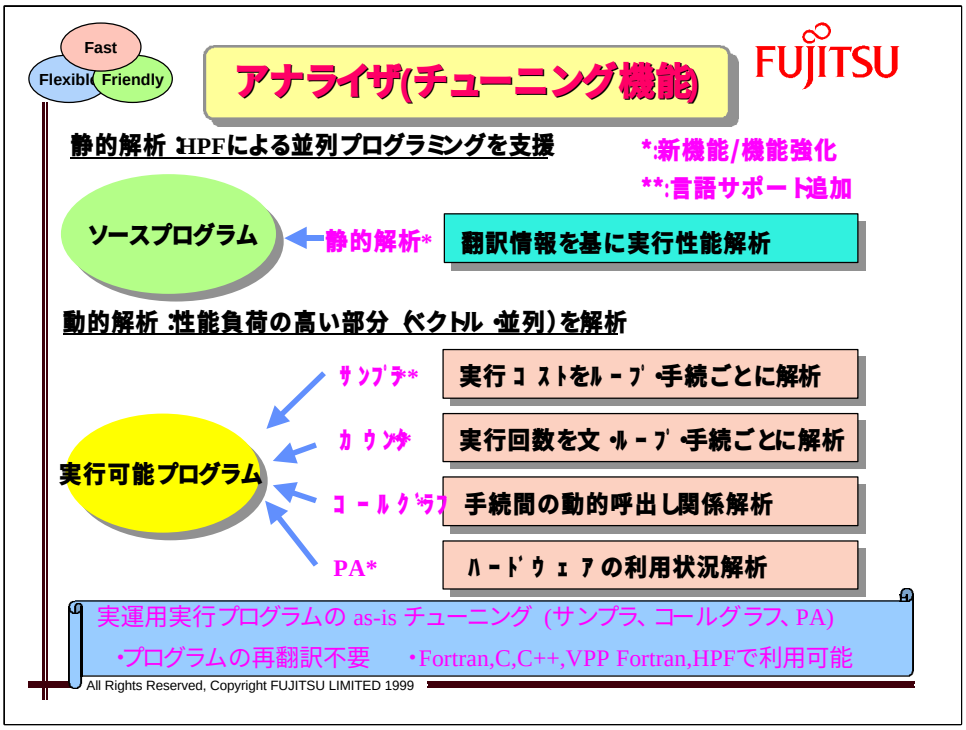
また、実運用ロードモジュールでの性能解析を支援するサンプラの言語エンハンス（C++,HPF)、ハードウェアの動作状況（PA)および実行時の手続きの呼び出し関係（コールグラフ）の解析をサポートしました。これらの機能により、性能上の高負荷部分の解析機能を充実しました。

デバッグ機能

逐次デバッガ(fdb)および並列デバッガ(pfdb)により、新言語であるHPFをサポートしました。また、多様なアクションポイントをサポートし、実際の運用局面でのデバッグ機能を強化しました。

ＷＳ連携機能

新アナライザのデバッグ、チューニング機能が、GUI操作でWSから利用できます。



アナライザのチューニング支援機能として、静的解析機能と動的解析機能を提供します。

静的解析機能

静的解析は、HPFによる並列プログラミングを支援します。

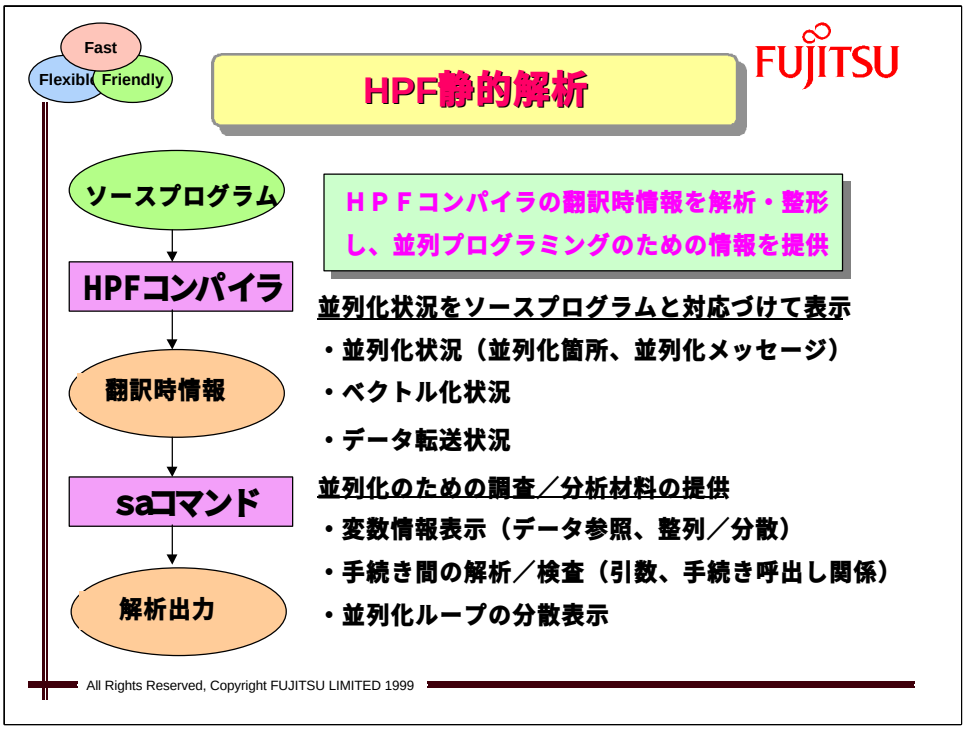
動的解析機能

動的解析機能は、プログラム実行時の性能チューニングを支援します。サンプラ、コールグラフおよびPAは、情報収集のためのプログラム再翻訳が不要で、実際に運用しているロードモジュールを対象として性能解析が行えます。

サンプラは、実行可能プログラムの手続きおよびループ単位のコストを解析するもので、負荷の高い箇所を特定できます。カウンタは、文ごとの実行回数を解析するもので、詳細な解析を支援します。

コールグラフは、実行時の動的な呼び出し経路、およびその経路に着目した性能コストを解析できます。

PAは、プログラム実行中のPE装置の稼働状況を解析するものです。プログラム全体、手続き毎の解析が、実運用ロードモジュールを対象として解析可能です。



HPFでは、データはすべてのプロセッサで共有され、データをアクセスするために必要なプロセッサ間の通信は、システムによって自動的に生成されます。データの分散および並列化の指示文の抽象度が高くなっており、実行の効率化のためには、負荷分散と通信の削減を考慮してデータの分割配置を指定することが重要です。

このような観点から、HPF静的解析は、HPFコンパイラの翻訳時情報をもとに、性能に影響がある部分を中心に並列プログラミングのための情報を利用者に通知します。

ベクトル化／並列化情報

ベクトル化／並列化状況（箇所、メッセージ）や、データ転送状況（暗黙的なデータ転送も含めた転送）をソースプログラムと対応付けて表示します。

並列化のための調査／分析材料

次のような情報を出力します。

・変数情報（データ参照、整列／分散状況）、変数属性

・手続き間の引数の整合性検査、呼び出し関係

・並列化ループの分散状況

コールグラフは、プログラム実行時の手続き間の動的な呼び出し関係を解析します。手続き間の遷移（呼び出し）は、ハードウェア新命令を使って捕捉しており、本機能利用のための再翻訳は不要です。

本機能が出力する情報は、次の通りです。

・呼び出し関係図

手続き名／ファイル名、呼び出し関係

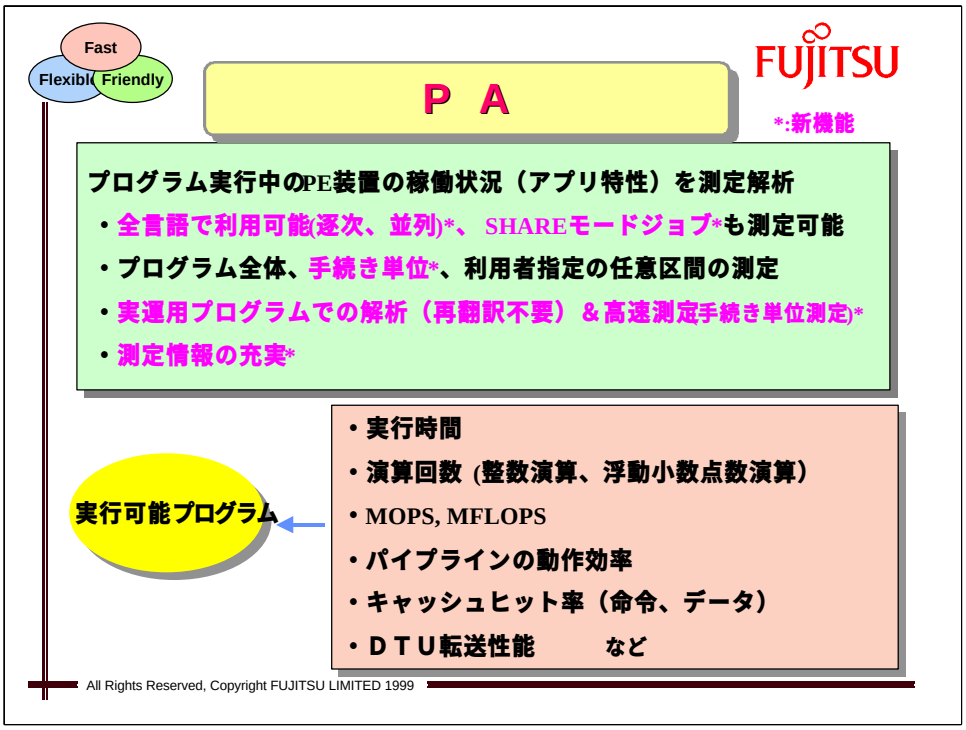
呼び出しの深さ（ネスト）、呼び出し元手続きの行番号

・手続き毎の性能情報

実行回数、実行CPU時間

初回／最終の起動時間（経過時間）

本機能は、逐次プログラムおよび並列プログラムから利用可能です。



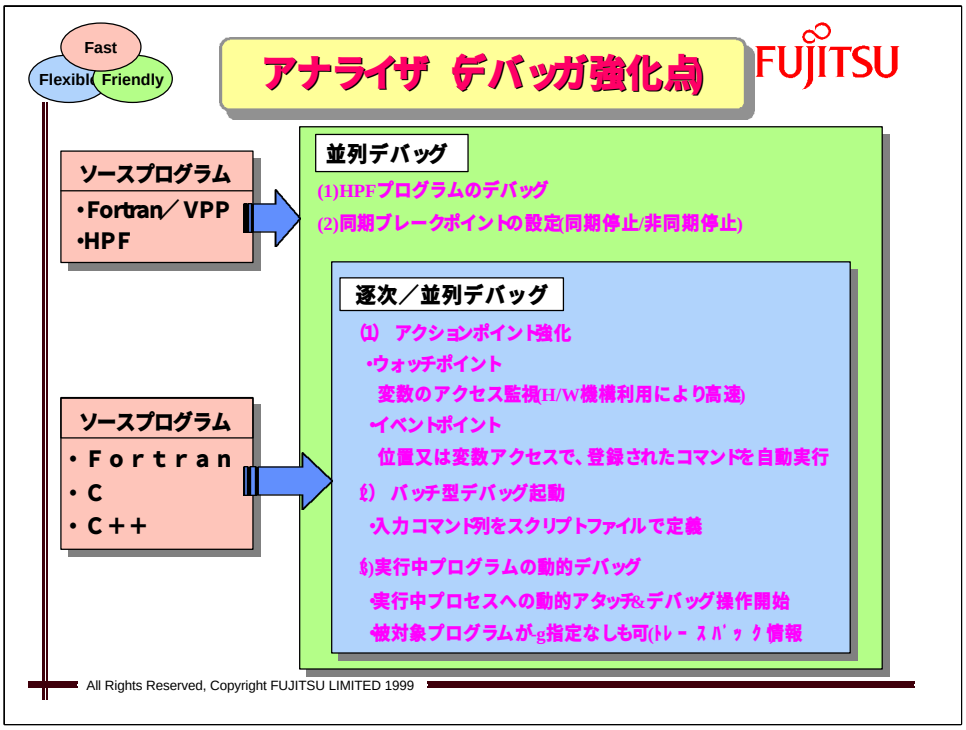
PAは、プログラム実行中のPE装置の稼働状況を解析するツールです。本ツールを使うことにより、負荷の高い手続き等に着目して、より詳細なPE稼働状況やアプリ特性を調べることができます。

<u>本ツールの特徴</u>

- 測定区間 :プログラム全体、手続き単位、利用者の指定した任意区間
- 対象プログラム :逐次／並列ジョブ。全体測定、手続き単位測定は再翻訳が不要。SHAREモードジョブも測定可
- 結果の出力 :CPU時間の高い手続き、ユーザ指定の手続き、全体（利用者のチューニング視点で編集出力）

<u>測定項目</u>

- 実行時間（CPU、経過時間）
- 演算回数（整数演算、浮動少数点数演算）
- MOPS,MFLOPS
- パイプラインの動作効率
- キャッシュヒット率（命令キャッシュ、データキャッシュ）
- DTU転送性能（転送量、時間、効率）　　など



デバッガの強化内容（逐次／並列デバッグ）

・アクションポイントの強化

－ ウォッチポイント

指定変数へのアクセスで停止。変数監視によるデバッガができる。

－イベントポイント

位置または変数アクセスで登録されたコマンドを非停止で実行。

プログラミングの状態遷移をモニタリングできる。

・バッチ型デバッグ起動

－入力コマンド列をスクリプトファイルで定義し、バッチ起動ができる。

・実行中プログラムの動的デバッグ開始

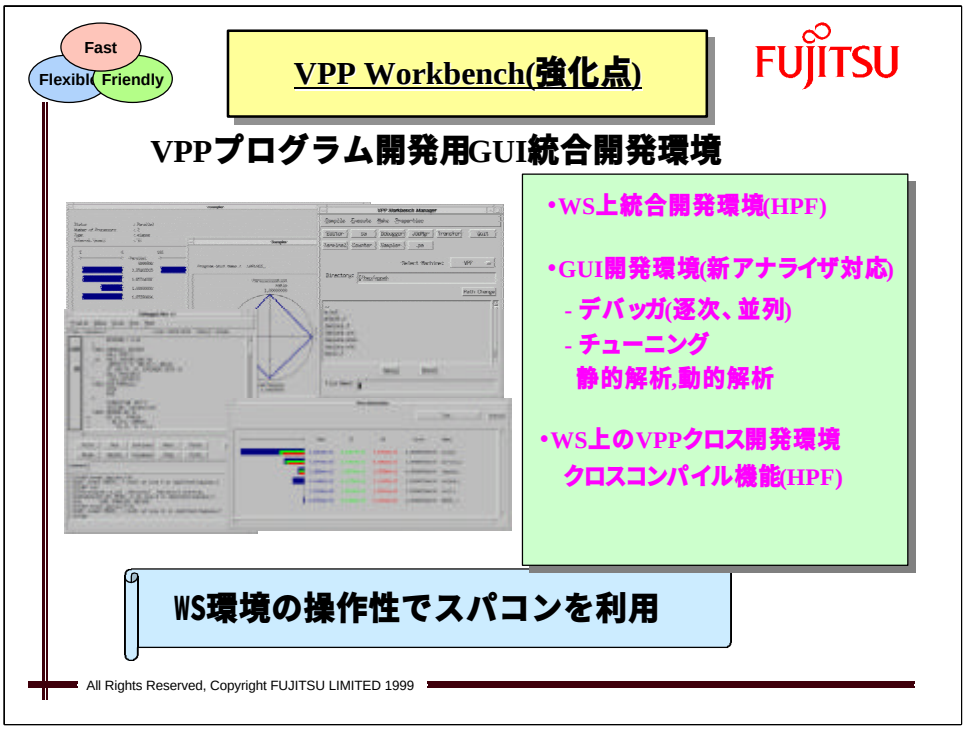
－既に実行中のプログラムにアタッチし。その時点からデバッグ操作可。

被対象プログラムはアタッチされた時点で実行停止。

並列デバッガ向けの強化内容

・HPFプログラムのデバッグ　:グローバル変数の表示／値の設定

・同期ブレークポイントの設定 :全プロセスの同期（停止）制御が可能



VPP Workbenchは、WS上でのVPPプログラミング支援環境です。
VPP800/5000向けに次の機能強化を実現しました。

統合開発環境(オウン、クロス)

Fortran,C,C++,VPP Fortranに加えて、今回、HPFを含めた統合開発環境を提供します。

GUI開発環境(新アナライザ対応)

デバッグ、チューニングの各機能が、GUI操作で利用できます。
静的解析 :構造解析の結果をソースプログラム上に表示
動的解析 :実行の解析結果を、判り易いグラフで表示

以上で言語処理系の報告を終わります。