インテル® ソフトウエア開発製品 利用方法

Revision 6.1K

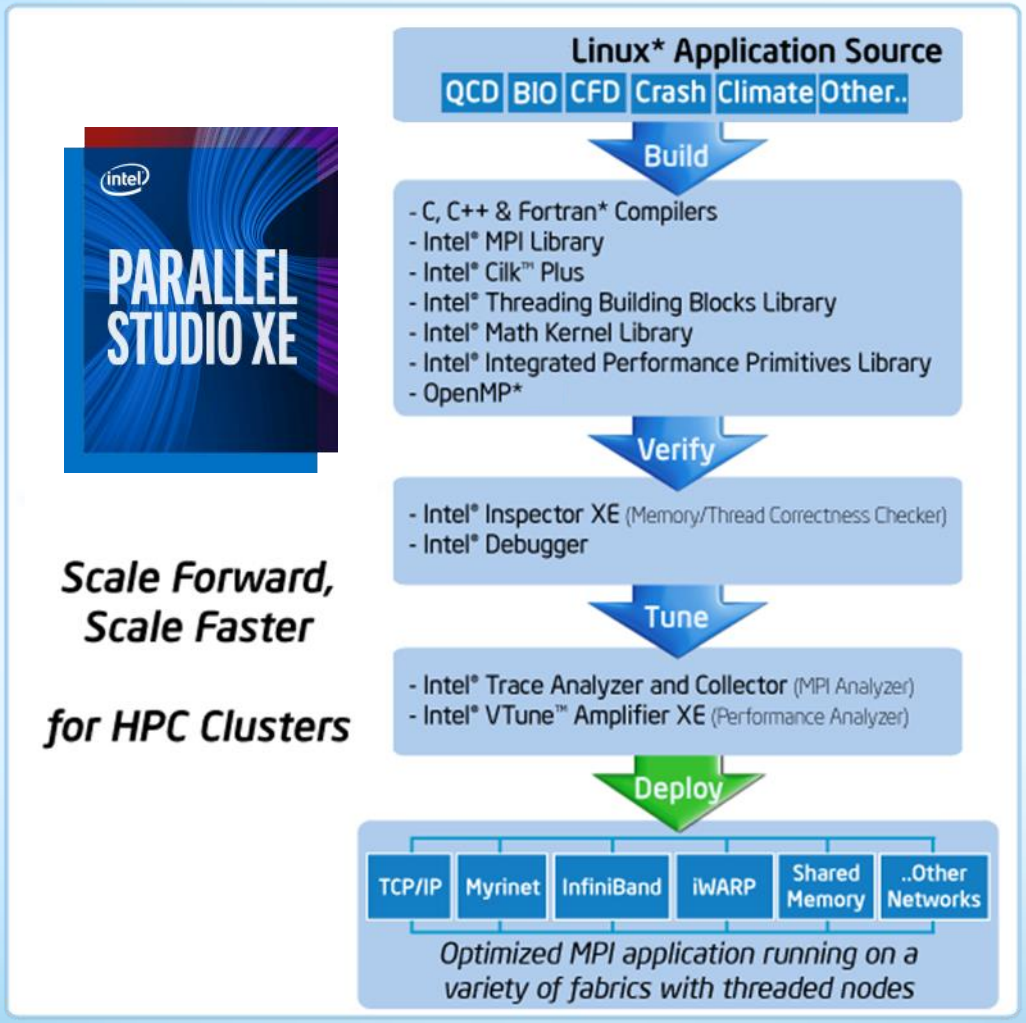
エクセルソフト株式会社

黒澤 一平

XLSOFT

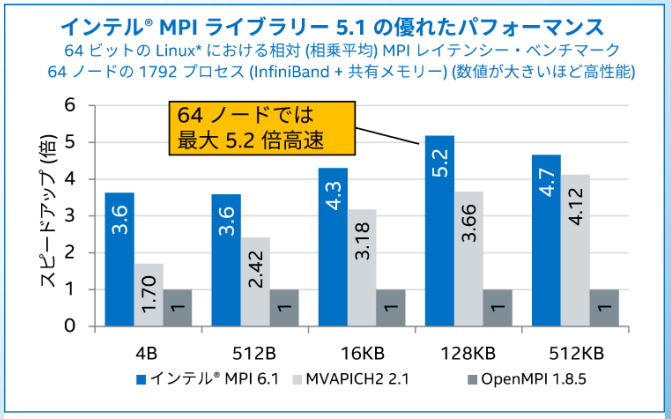
インテル® Parallel Studio XE Cluster Edition 概要

インテル® Parallel Stduio XE 2016 Cluster Edition
クラスターシステム向けの総合開発ツール



それぞれのフェーズに対応する
ハイパフォーマンス・ツール

- 高速化に特化したC、C++、Fortran コンパイラー
- 最適化されたライブラリー
- エラー検出ツール、デバッガー
- 性能解析ツール



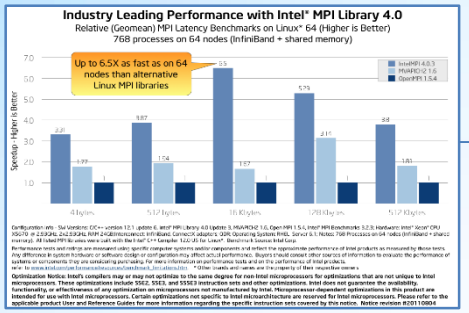
インテル® Parallel Studio XE 2016 の構成詳細

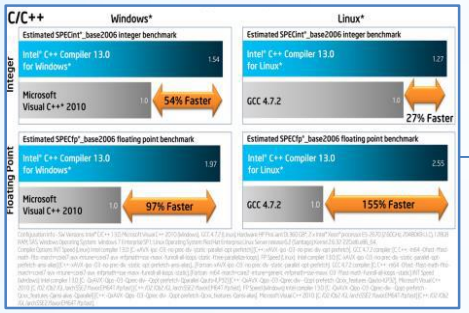
フェーズ	製品名	機能	利点
ビルド	 **インテル® MPI ライブラリー**	ハイパフォーマンスな MPI ライブラリー	• ハイパフォーマンス、スケーラビリティー、インターコネクトの独立性、実行時のファブリック選択、アプリケーション・チューニングを実現
	 **インテル® Composer XE**	C/C++ 、Fortran コンパイラーとパフォーマンス・ライブラリー • インテル® スレッディング・ビルディング・ブロック • インテル® Cilk™ Plus • インテル® インテグレーテッド・パフォーマンス・プリミティブ • インテル® マス・カーネル・ライブラリー	• マルチコアと将来のメニーコアのパフォーマンスおよびスケーラビリティーを引き出すアプリケーションを開発するためのソリューション
検証	 **インテル® Inspector XE**	コードの品質を高める動的なメモリー/スレッド化解析とスタティック・セキュリティー解析	• 生産性とコードの品質を高め、コストを削減し、早期にメモリー/スレッド/セキュリティーの問題を発見 • 各クラスターノードで MPI に対応
検証 & チューニング	 **インテル® トレース・アナライザー/コレクター**	アプリケーションの正当性と動作を理解するための MPI パフォーマンス・プロファイラー	• MPI プログラムのパフォーマンスを解析し、並列アプリケーションの動作と通信パターンを視覚化して、hotspot を特定
チューニング	 **インテル® VTune™ Amplifier XE**	アプリケーションのパフォーマンスとスケーラビリティーを最適化するパフォーマンス・プロファイラー	• 従来の推測作業を排除し、短時間で容易にパフォーマンスとスケーラビリティーのボトルネックを特定 • 各クラスターノードで MPI に対応
並列化、ベクトル化	 **インテル® Advisor**	並列化とマルチスレッド化のアドバイザー	• マルチスレッド化すべき場所を特定 • マルチスレッド化性能予測 • ベクトル化状況を解析

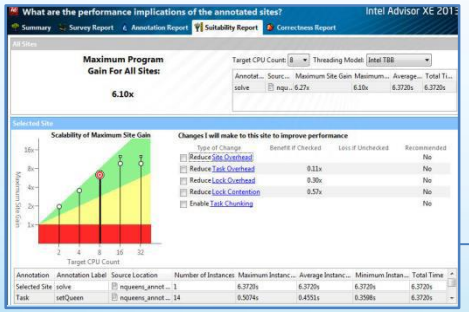
インテル® Composer XE に含まれるライブラリー

製品名	機能	利点
インテル® マス カーネル ライブラリー (インテル® MKL)	ハイパフォーマンスな数値演算ライブラリー ・LAPACK, ScaLAPAC ・BLAS, Sparse BLAS, PBLAS ・PARDISO ・FFT など	• 高速化、並列化されており、プロセッサーの性能を最大限活用することができる
インテル® インテグレーテッド パフォーマンス プリミティブ (インテル® IPP)	ハイパフォーマンスなマルチメディアライブラリー • 信号処理、音声処理 • 画像、動画処理 • データ処理 • 暗号化	• 基関数を組み合わせるだけで様々な高速な関数を作成することができる
インテル® スレッディング ビルディング ブロック (インテル® TBB)	C++言語用のマルチスレッド化対応テンプレートライブラリー	• マルチスレッド化のための抽象化されたテンプレート、コンテナー、およびクラスを使用することでハイパフォーマンスなマルチスレッドアプリケーションの作成を実現

それぞれの性能、インターフェース







インテル® MPI ライブラリー

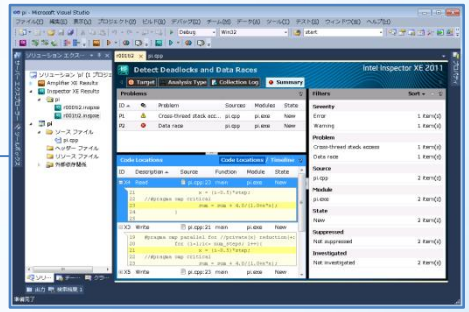
インテル® Composer XE

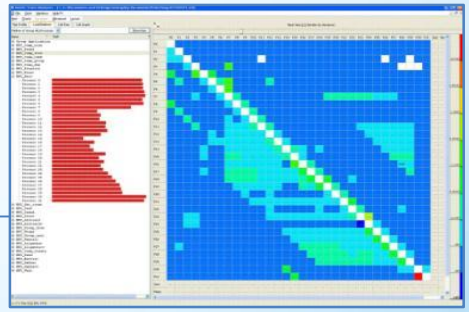
インテル® Inspector XE

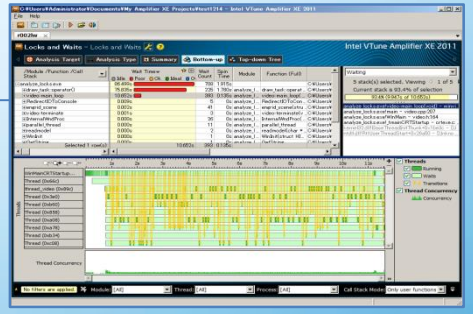
インテル® トレース・アナライザー/コレクター

インテル® VTune™ Amplifier XE

インテル® Advisor XE







インテル® C/C++, Fortran Composer XE (コンパイラー)
コンパイル方法およびコンパイラーオプションの紹介

ドキュメント凡例、用語

icc	インテル® C コンパイラー
icpc	インテル® C++ コンパイラー
ifort	インテル® Fortran コンパイラー
mpiicc	mpicc のインテル® C コンパイラー版
mpiicpc	mpic++, mpicxx のインテル® C++ コンパイラー版
mpiifort	mpif77,mpif90 のインテル® Fortran コンパイラー版
<Install dir>	各製品のインストールディレクトリー
必須	製品を使用するための必須設定や基礎情報
参考	機能一覧や、使用の参考となる情報

使用頻度の高いオプション例 (Linux 版)

自動並列化(マルチスレッド)	mpiicc -parallel 〈ファイル〉
OpenMP:	mpiicc -openmp 〈ファイル〉
ループの最適化	mpiicc -O3 〈ファイル〉
ベクトル化 (Sandy Bridge † 対応)	mpiicc -xAVX 〈ファイル〉
プロシージャ間の最適化	mpiicc -ipo 〈ファイル〉
インテル® Trace Collector をリンク	mpiicc -trace -g 〈ファイル〉

※詳細はインテル® Trace Analyzer/ Collector の使用方法にて説明

推奨設定:

mpiicc -O3 -xAVX -ipo [-openmp] [-parallel] 〈ファイル〉

※ mpiicc の他に、iccやifort、mpiifort を使用した場合も同様
(ただし -trace はMPI版コンパイラー使用時のみ)

必須

主要なコンパイラーオプション一覧

オプション	概要
-O0	全ての最適化オプションを無効にする
-O1, -O2, -O3	ループの最適化 (3が最も強力)
-x, -ax, -m	ベクトル化、各プロセッサー向けの最適化
-ipo	プロシージャ間の最適化
-qopenmp	OpenMP を利用
-parallel	自動並列化
-prof_gen, -prof_use	プロファイルによる最適化 (Profile Guided Optimization〔PGO〕)
-guide	ガイド付き自動並列化
-qopt-report-phase=*n1, n2*	最適化フェーズ *n1*、*n2*・・の最適化レポート※を生成 *all*、*loop*、*vec*、*par*、*cg*、*ipo*、*pgo*、*offload*
-fast	-ipo、-O3、-no-prec-div、-static、-xHOST を有効にする
-fp-model 〈*model*〉	浮動小数点数演算の精度を制御 *(model*は、*strict, precise, fast 等選択可)*

※ 最適化レポートはソースファイル毎に、fimename.optreport

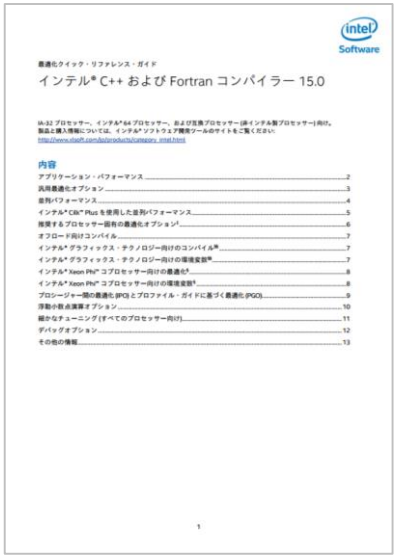
主要なコンパイラーオプション一覧つづき

オプション	概要
-prec-div	浮動小数点数演算の精度を向上させる
-static-intel, -shared-intel	インテル® ライブラリーのリンク方法を指定(初期値はstatic)
-mkl *[=lib]* *使用例:* *-mkl=cluster*	インテル® MKL をリンクする *(=lib は以下を選択可能)* *parallel* マルチスレッド化されたインテル® MKL のスレッドをリンクする。lib 未指定時のデフォルト *sequential* シングルスレッドのインテル® MKL のスレッドをリンクする *cluster* クラスターに対応した関数のインテル® MKL と、その他シングルスレッドのインテル® MKL をリンクする

インテル® Composer XE
最適化クイック・リファレンス・ガイド

- 最適化の手順と、基本的なオプションが一覧になったドキュメント
  http://jp.xlsoft.com/documents/intel/compiler/Quick-Reference-Card-Intel-Compilers-v15_JA.pdf

1. ループの最適化
2. ベクトル化
3. プロシージャ間の最適化 (IPO)
   プロファイルに基づく最適化(PGO)
4. ガイド付き自動並列化(GAP)
5. インテル® VTune™ Amplifier XEの利用



高度な最適化: -O3
（High-Level Optimization: HLO）

- ループの最適化
  - ループのアンロール、並べ替え、プリフェッチャの挿入
  - 自動ベクトル化オプション（-x, -ax）と併用することにより
    強力なデータ依存解析を行い、ベクトル化の可能性を高める

コンパイラーオプション	
-O0	最適化を無効にする
-O1	実行速度の最適化（コードサイズの増加なし）
-O2	実行速度の最適化（デフォルト）
-O3	高度な最適化

オプションの詳細 (-O)
Fortran: https://software.intel.com/en-us/node/579292
C/C++: https://software.intel.com/en-us/node/581715

自動ベクトル化: -m, -x, -ax（Vectorizer）

- スカラー演算を SIMD（Single Instruction Multiple Data）演算に自動変換して、処理効率の良いコードを生成

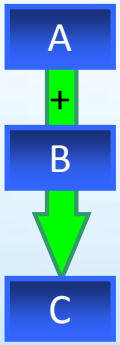
例）

```
for ( i=1; i<=MAX; i++ )
  c[i] = a[i] + b[i];
```

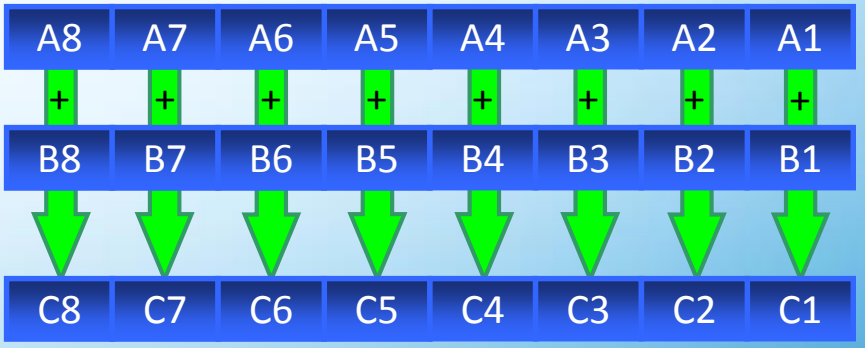
-no-vec（ベクトル化をしない）

-xAVX（Intel AVX 命令を使用）

スカラー演算：1命令で1結果 × MAX 回



SIMD演算：1命令で8結果 ×（MAX/8）回



※ AVX 、float の場合

自動ベクトル化オプション -m, -x, -ax の違い

オプション	概要
-x*<code>* *<code>*=Host,AVX,SSE4.2,SSE4.1,SSE3_ATOM,SSSE3,SSE3,SSE2, CORE-AVX-I, CORE-AVX2, MIC-AVX512、他	インテルプロセッサー専用の最適化を行い、AVX、SSE4.2などの命令セットを生成する 例: -xAVX は AVX、SSE4.2、SSE4.1、SSSE3、SSE3、SSE2、SSE を生成
-ax*<code>* *<code>*=AVX,SSE4.2,SSE4.1,SSSE3,SSE3,SSE2, CORE-AVX-I, CORE-AVX2, MIC-AVX512、他	インテルプロセッサー専用の最適化と、AVXやSSE4.2 等と、汎用命令セットを生成する 例: -axAVX は AVX、SSE4.2、SSE4.1、SSSE3、SSE3、SSE2、SSE と、汎用コードを生成
-m*<code>* *<code>*=ia32, sse2, sse3, ssse3, sse4.1, sse4.2, avx	インテル互換プロセッサーに対応する、ia32、sse2命令セットを生成する 例: -mSSE4.1 は SSE4.1、SSSE3、SSE3、SSE2、SSE を生成

オプションの詳細 (-x)
Fortran: https://software.intel.com/en-us/node/579311
C/C++: https://software.intel.com/en-us/node/581749

-ax オプション補足

- 複数のプロセッサーに対応させたい場合、対象プロセッサーを複数設定することができる

例: -axAVX,SSE4.2,SSE3 は以下のように動作する

- AVX をサポートするプロセッサー: AVX までを実行
- SSE4.2 をサポートするプロセッサー: SSE4.2 までを実行
- SSE4.1 をサポートするプロセッサー: SSE3 までを実行
- SSE2 をサポートするプロセッサー: 汎用コードを実行

浮動小数点数演算の精度: -fp-model

- 浮動小数点数の演算は、コンパイラーの最適化により異なった結果を生じる場合がある
- precise や strict を指定した場合は、一部のベクトル化が抑制される（パフォーマンスと精度はトレードオフ）

ソースコードの記述

```
float t0, t1, t2
t0 = 4.0f + 0.1f + t1 + t2
```

オプション	効果
-fp-model fast（デフォルト）	演算順序の変更を含む様々な最適化を行う `t0 = 4.1f + t1 + t2`
-fp-model precise	演算順序を変更しない、その他の最適化は行う `t0 = (4.1f + t1) + t2`
-fp-model strict	演算順序を変更せず、厳密に計算する `t0 = (((4.0f + 0.1f) + t1) + t2)`

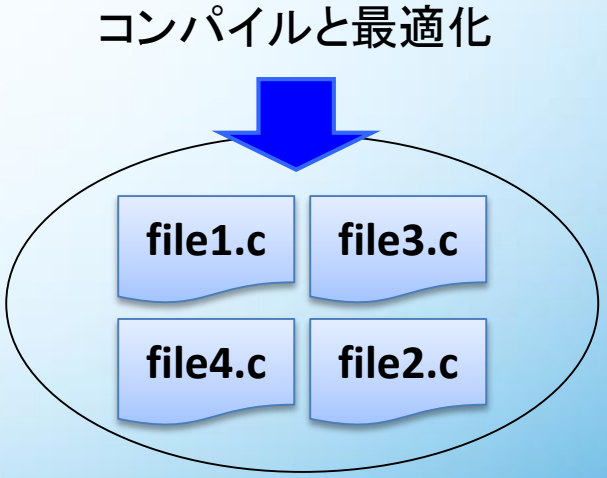
オプションの詳細 (-fp-model)
Fortran:https://software.intel.com/en-us/node/579431
C/C++: https://software.intel.com/en-us/node/581881

プロシージャ間の最適化: -ipo
（Inter Procedural Optimization: IPO）

- 複数ソースファイル間での参照関係を考慮し、プログラム全体の構成を最適化
  - 関数のインライン展開、定数伝播、不要な処理の削除など
  - エイリアス解析などにより、自動ベクトル化を促進

IPOを使用しない場合

IPOを使用した場合



オプションの詳細 (-ipo)
Fortran: https://software.intel.com/en-us/node/579318
C/C++: https://software.intel.com/en-us/node/581756

自動並列化: -parallel（Parallelizer）

- ループ文を解析し、マルチスレッド化されたコードを生成
  - 安全性: 各反復に依存性があると並列化しない
  - 効率性: 処理量が小さい場合には並列化しない
- レポートオプションにて、並列化の成否を確認可能
  - -par-report[n]　　n は 0,1,2,3 のいずれか

```
int_sin.cpp(74): (col. 4) remark: ループは並列化されませんでした: 並列依存関係が存在しています。.
int_sin.cpp(92): (col. 6) remark: ループは並列化されませんでした: 計算量が不足しています。.
```

- 効率性については、しきい値による調整が可能
  - -par-threshold[n]　n は 0～100 の間

```
int_sin.c(92): (col. 6) remark: ループが自動並列化されました。
```

オプションの詳細 (-parallel)
Fortran: https://software.intel.com/en-us/node/579411
C/C++: https://software.intel.com/en-us/node/581861

ガイド付き自動並列化: -guide
（Guided Auto Parallelization: GAP）

- コンパイラーが最適化に関するアドバイスを提供
  - 自動ベクトル化　　-guide-par
  - 自動並列化　　-guide-vec
  - データ構造の改良　　-guide-data-trans
- メッセージ例（自動ベクトル化について）

gap_vec.c(8): remark #30536: (LOOP) 必要に応じて、-fargument-noalias オプションを追加してコンパイラーによる型ベースの一義化解析を向上できます (オプションはコンパイル全体に適用されます)。これにより、行 8 のループがベクトル化され最適化が向上します。[確認] コンパイル全体でこのオプションのセマンティクスに沿っていることを確認してください。[別の方法] ルーチン "matrix_mul_matrix" のすべてのポインター型の引数に "restrict" キーワードを追加することで同様の効果が得られます。これにより、行 8 のループがベクトル化され最適化が向上します。[確認] "restrict" ポインター修飾子のセマンティクスに沿っていることを確認してください。ルーチンにおいて、そのポインターによってアクセスされるすべてのデータは、ほかのポインターからはアクセスできません。

オプションの詳細 (-guide)
Fortran: https://software.intel.com/en-us/node/579329
C/C++: https://software.intel.com/en-us/node/581774

最適化レポート -qopt-report-phase=*name1,name2,…*

最適化フェーズ *name1*、*name2* 固有の最適化レポートを生成

name 引数には、以下のキーワードを指定可能

all	– すべてのフェーズのすべての最適化レポート (デフォルト)
loop	– ループの入れ子とメモリーの最適化
vec	– 自動ベクトル化と明示的なベクトル・プログラミング
par	– 自動並列化
openmp	– OpenMP* によるスレッド化
cg	– コード生成
ipo	– インライン展開を含むプロシージャー間の最適化
pgo	– プロファイルに基づく最適化
offload	– インテル® MIC アーキテクチャーやインテル® グラフィックス・テクノロジーへのデータ/実行のオフロード

ベクトル化レポート: -qopt-report-phase=vec

ループがベクトル化されない理由

- Existence of vector dependence
  ″ベクトルの依存関係が存在する″
- Nonunit stride used
  ″ユニットストライドではないアクセス″
- Mixed Data Types
  ″データ型が混合している″
- Condition too Complex
  ″条件が複雑すぎる″
- Condition may protect exception
  "分岐条件の変更が例外を招く″
- Low trip count
  "ループ回数が少なすぎる″
- Subscript too complex
  ″添字が複雑すぎる″
- Unsupported Loop Structure
  "サポートされないループ構造″
- Contains unvectorizable statement at line XX
  ″行 XX にベクトル化できない文が含まれている″
- Not Inner Loop
  ″内部ループでない″
- Vectorization possible but seems inefficient
  ″ベクトル化しても非効率″
- Operator unsuited for vectorization
  ″演算子がベクトル化に適していない″

コマンドとプロセスマネージャーの関係

コマンド	プロセスマネージャー	特長
mpiexec	MPD	パフォーマンスなどの観点から使用は推奨されない。
mpiexec.hydra	Hydra	MPD の欠点を改良したものであり、スケーラビリティに優れる。 単一のHydraプロセスが、複数のMPIプロセスを管理する。
mpirun	Hydra (デフォルト) MPD ※環境変数 I_MPI_PROCESS_MANAGERにより変更可能 I_MPI_PROCESS_MANAGER=hydra I_MPI_PROCESS_MANAGER=mpd	・Hydraの場合、mpiexec.hydra と同様の動作。 ・MPDの場合、mpdboot により MPD が起動され、続いて mpiexec により MPI プログラムが実行される。プログラムが終了すると mpdallexit により MPD を終了する。

インテル® Inspector XE による動的 / 静的エラー検出方法の紹介

インテル® Inspector XE の動的解析を使用するための準備

- -g オプションを指定してコンパイル

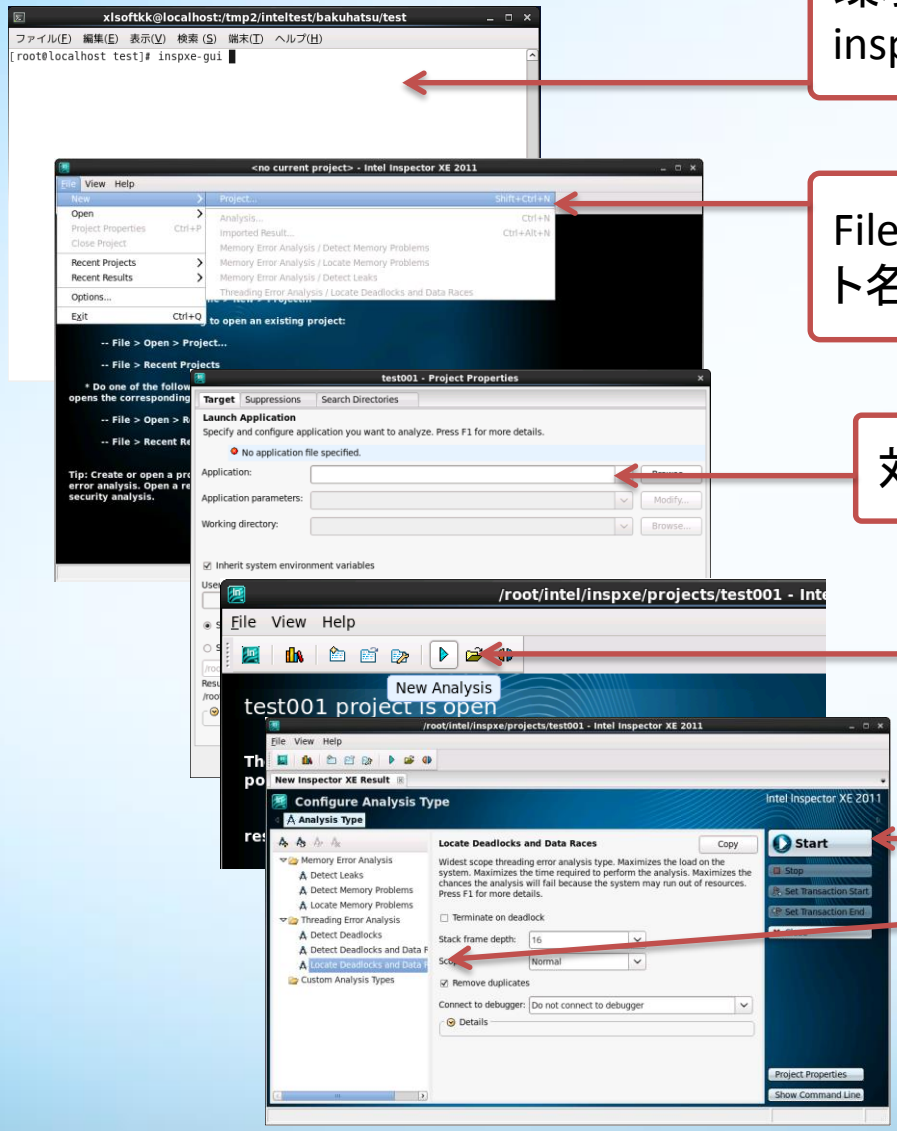
  例： icc -g openmp_app.c

  ※-g オプションを指定してデバッグ情報を生成することで、
  エラー検出時にソースコードと連携して表示させることが出来る

- GUI または コマンドラインから実行

  次ページより手順記載

GUI からの利用手順



環境変数を設定し、次のコマンドを実行する
inspxe-gui

File > New > Project にて、任意のプロジェクト名を指定する

対象アプリケーションを指定する

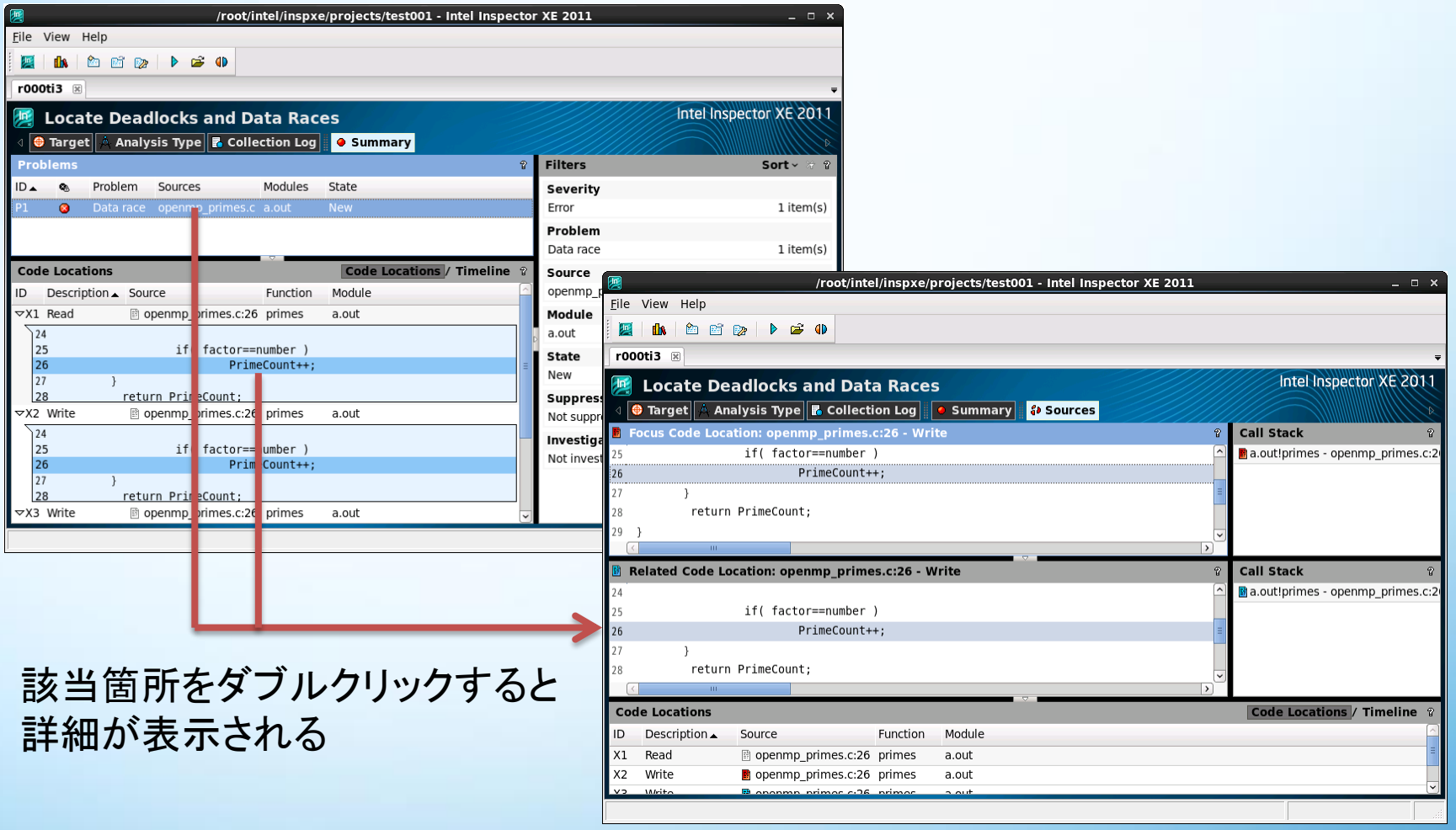
New Analysis ボタンを押す

検出タイプを選択し、Start ボタンを押す

必須

エラー検出画面

エラーの種類と該当箇所が表示される



該当箇所をダブルクリックすると
詳細が表示される

必須

コマンドラインからの動的解析の利用手順

inspxe-cl -collect=ti3 -result-dir=hoge ./a.out ②

インテル® Inspector XE のコマンドを実行

必要に応じて、検出結果が保存されたフォルダ(上記の場合はフォルダhoge)をGUI 利用可能なシステムにコピーして、環境変数を設定

inspxe-gui

インテル® Inspector XE GUI の起動コマンドを実行

File > Open > Result にてリザルトファイル(拡張子 .inspxe)を開く

コマンドラインからの動的解析の利用手順 つづき

コマンド記述方法

inspxe-cl -collect=<string> [-action-option] [-global-option] [--] <target> [<target options>]

<string>
mi1　メモリーリークを検出
mi2　mi1 + 他のメモリー問題を検出
mi3　mi2 + 問題の場所を検出
ti1　デッドロックを検出
ti2　ti1 + データ競合を検出
ti3　ti2 + 問題の場所を検出

[-action-option]
ここでは、結果を保存するディレクトリを指定するオプションを指定する
-result-dir=<string>

[-global-option]
詳細は、"inspxe-cl -help collect" を参照

コマンド例:

inspxe-cl -collect=ti3 -result-dir=hoge ./a.out

※この場合、./hoge にリザルト ファイルが保存される

インテル® VTune™ Amplifier XE によるパフォーマンス解析

インテル® VTune™ Amplifier XE

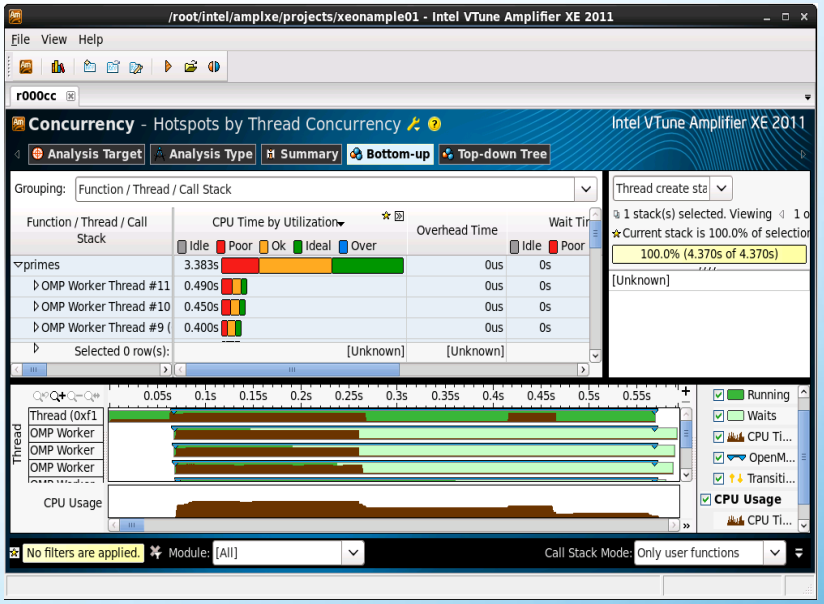
- パフォーマンス向上のための解析ツール
  ソースコードの修正や、特別なビルドなしに該当箇所を特定

Hotspot
処理に時間を要する箇所を特定

Concurrency
マルチスレッドの並列性を表示

Lock & Wait
スレッド間通信などの情報

Hardware Event
プロセッサーで生じたイベントを表示

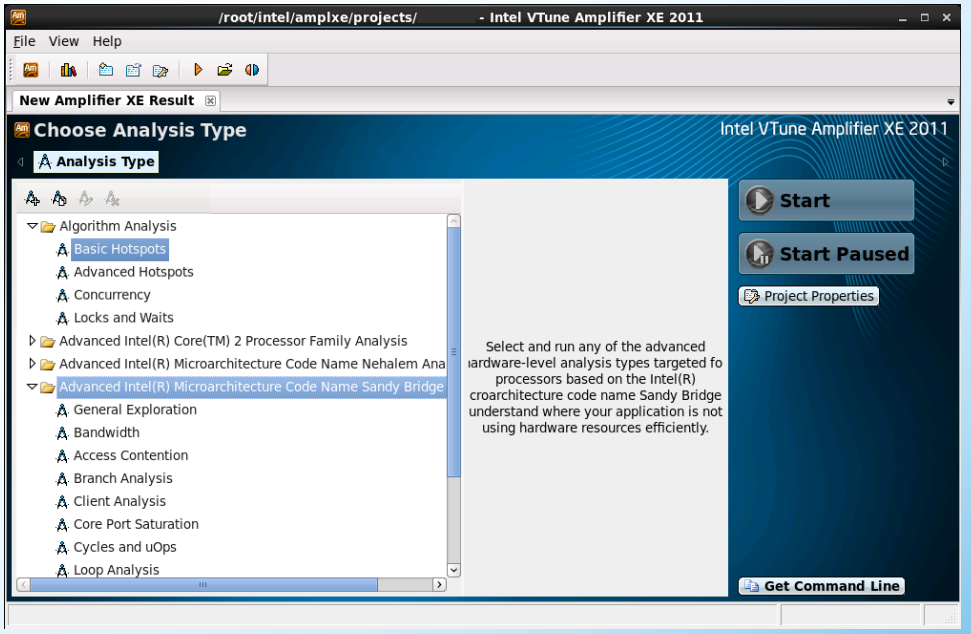


プリセットされた解析タイプ

- GUI およびコマンドラインから、プリセットされた解析タイプを選択するだけで、主要な情報を取得することができる

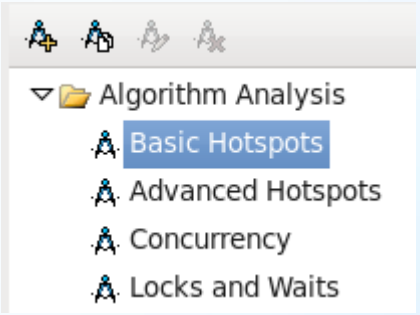
<Analysis Type> 例：
hotspots
concurrency
locksandwaits

advanced-hotspots
general-exploration
bandwidth



GUI は、初めての利用者でも使用できるように、選択箇所の説明が表示される

解析タイプ



◆ Advanced Hotspots (-collect advanced-hotspots)

- CPU の処理に時間を要している箇所を検出する
- オーバーヘッドが少ない
- 関数コールスタック情報を収集しない
- 論理コア単位の動作状況も表示できる

◆ Basic Hotspots (-collect hotstpots)

- CPU の処理に時間を要している箇所を検出する（オーバーヘッドは約5%）
- 実行中のインストラクション・ポインター(IP)、関数コールスタック情報などを収集する
- 同時実行コア数のヒストグラム表示ができる
- アプリケーションまたはプロセスの検出を行う（システム全体の検出はできない）

◆ Concurrency (-collect concurrency)

- 詳細なスレッド動作の検出を行う
- スレッドの同時利用状況、スレッド間の同期状態などの情報を収集する
- アプリケーションまたはプロセスの検出を行う（システム全体の検出はできない）

◆ Locks and Waits (-collect locksandwaits)

- アイドル状態の検出を行う
- スリープ処理や同期オブジェクト、I/O 処理待ち状態などの情報を収集する
- アプリケーションまたはプロセスの検出を行う（システム全体の検出はできない）

プロセッサーイベントに関する解析

1. 解析タイプ“General Exploration”からサンプリングをスタートする
   コマンドラインの場合には (-collect general-exploration)

2. 解析が完了したら、ビューポイントを“（General Exploration”に設定し、
   “Summary”ウィンドウから「Hardware Event-based Metrics」を確認する

   - この 評価基準は、インテルアーキテクトによって定められたイベント比率であり、評価基準の閾（しきい）値が定義されている

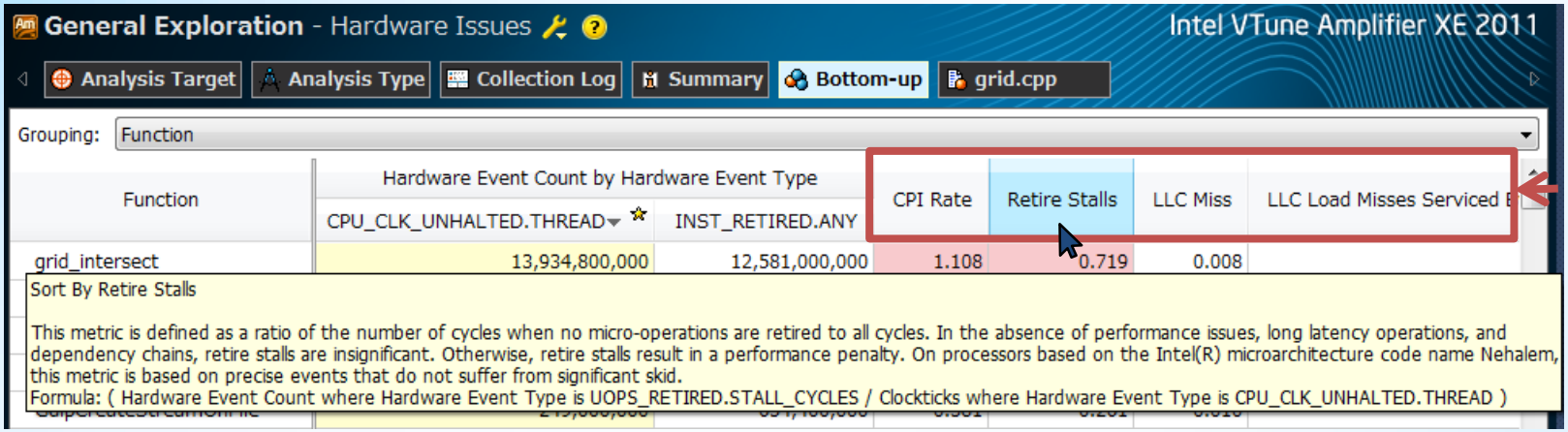
3. 関数単位の Metrics 内容を確認するために、Bottom-up ボタンをクリック

   - 5%以上のCPU 使用率をもつ関数はホットスポットと認識され、またその基準値を超えている場合は、潜在的な問題と見なされ、ピンクでマークされる
   - 各項目にマウスポインターでフォーカスすると、その項目の内容とイベント比率を求める公式が表示される
   - ピンクでマークされている箇所にマウスポインターでフォーカスすると、問題修正のヒントや設定された基準の閾値が表示される

4. 問題のある関数はダブルクリックしてソース/アセンブリコードで調査する

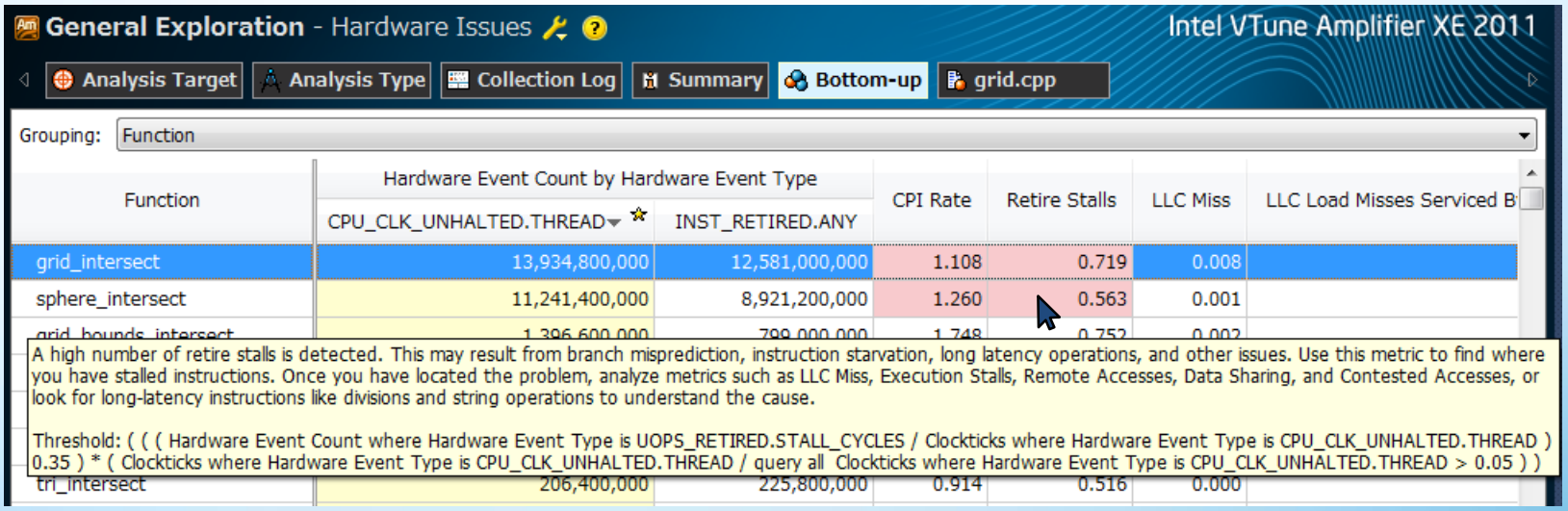
5. 発見された特定の問題に関する解析タイプを使用して更なる分析を行う

基準値に関する情報（マウスカーソルで表示）



基準項目

基準値の説明と公式

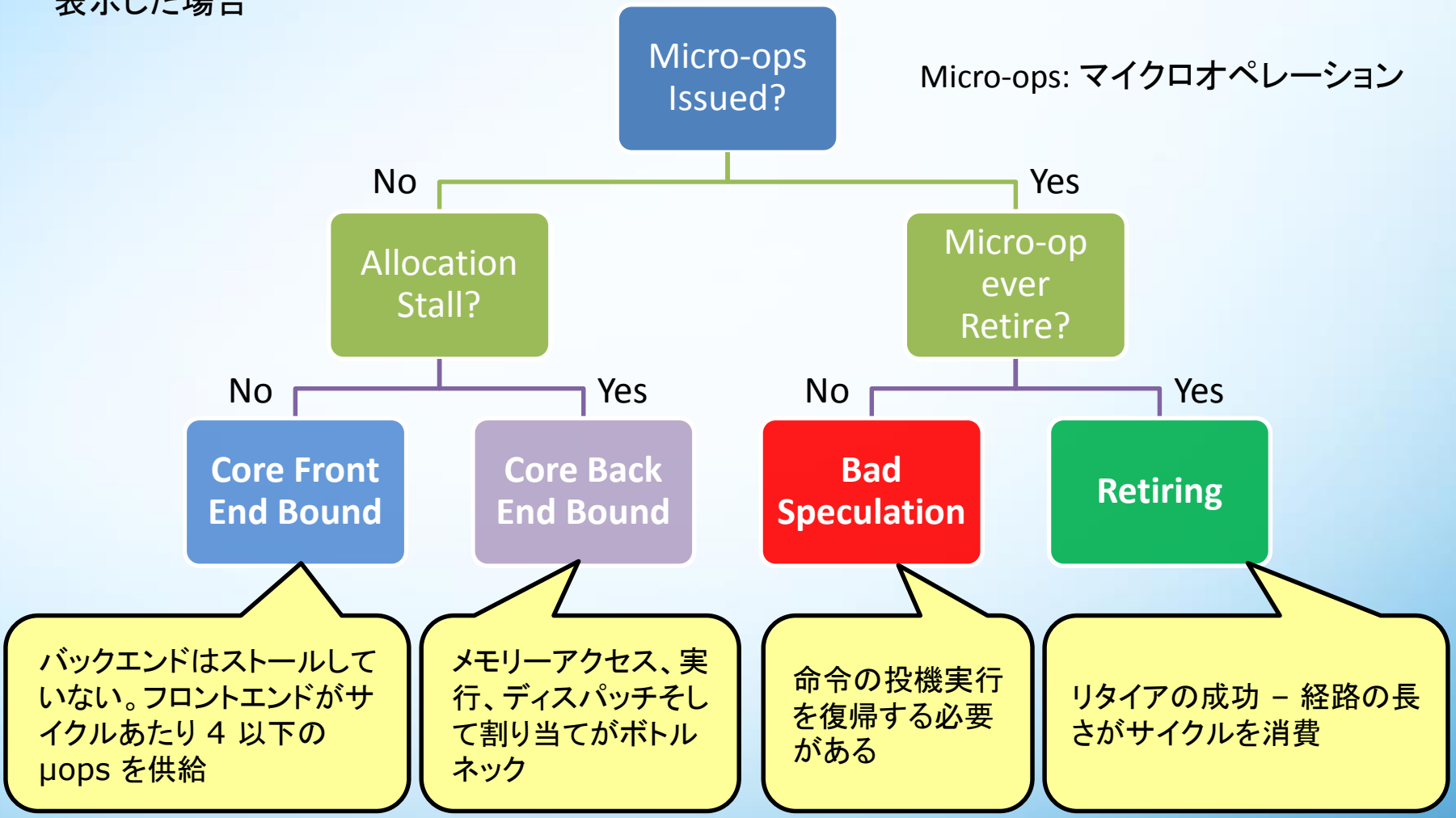


問題解決のヒントと閾値

※ 他Metrics は、Intel VTune Amplifier XE Help ドキュメントから、[Key Concepts] – [Performance Metrics] – [Hardware Event-based Metrics] に記載

プロセッサー イベント サンプリング 解析の考え方(手順)

◆ 解析タイプ“General Exploration”でのサンプリング結果を“General Exploration”ビューポイントで表示した場合



インテル® VTune™ Amplifier XE を使用するための準備

- -g オプションを指定してコンパイル

  例: icc -g openmp_app.c -O2

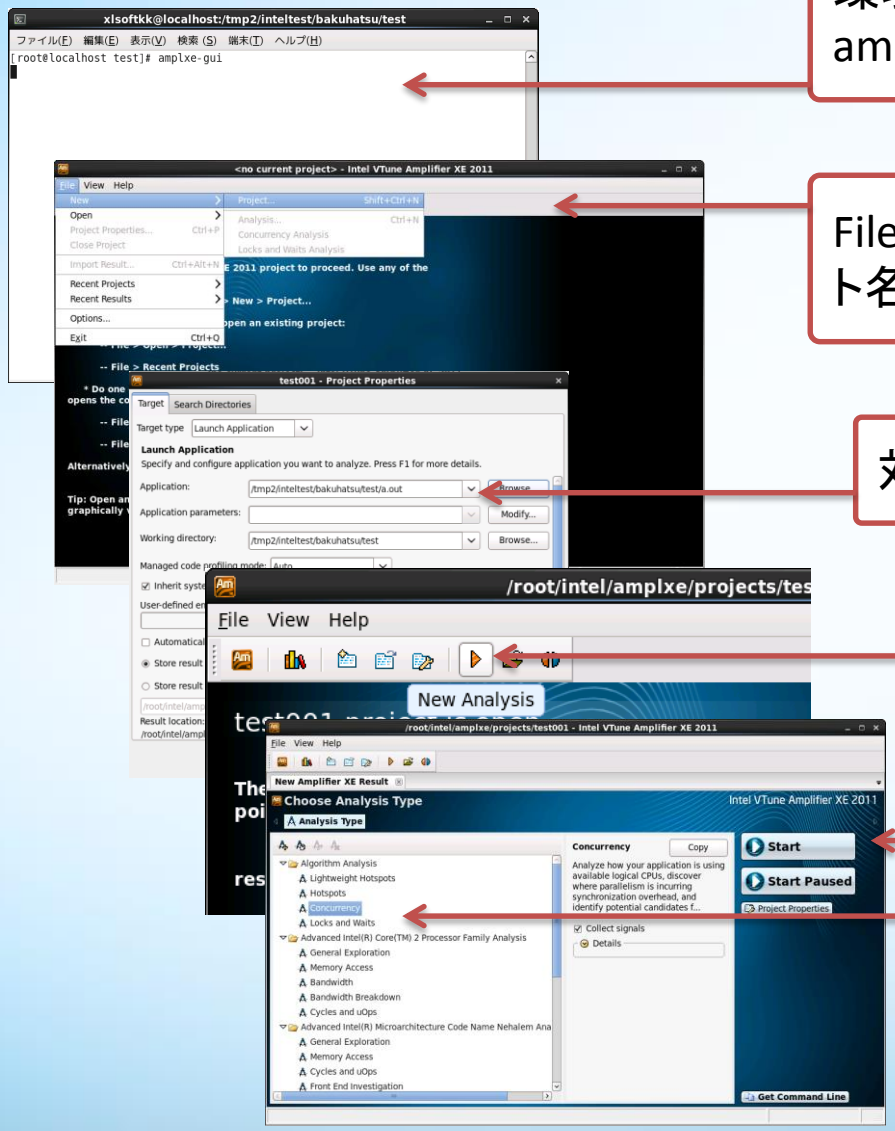
  ※-g オプションを指定してデバッグ情報を生成することで、
  エラー検出時にソースコードと連携して表示させることが出来るようになる。
  -g オプションを付けると最適化が無効になるため、-O2 や -O3 -xHOST などの
  最適化オプションを明示的に指定する。

- GUI または コマンドラインから実行する

  次ページより手順記載

必須

GUI からの利用手順



環境変数を設定し、次のコマンドを実行する
amplxe-gui

File > New > Project にて、任意のプロジェクト名を指定する

対象アプリケーションを指定する

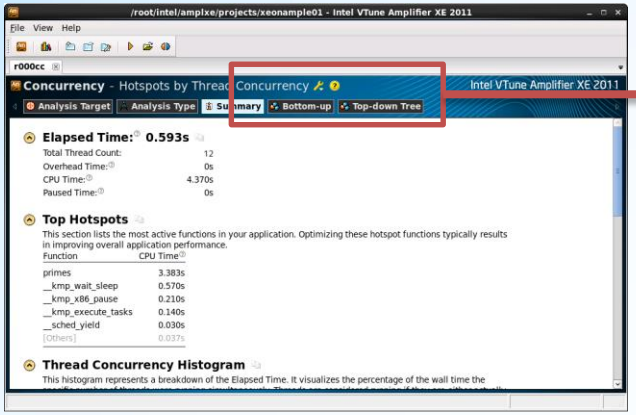
New Analysis ボタンを押す

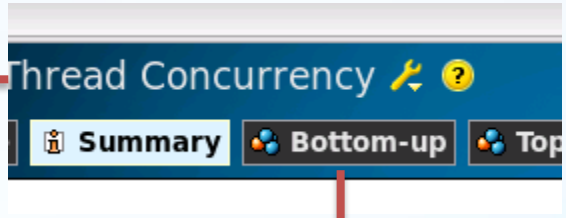
解析タイプを選択し、Start ボタンを押す※詳細については次ページ

必須

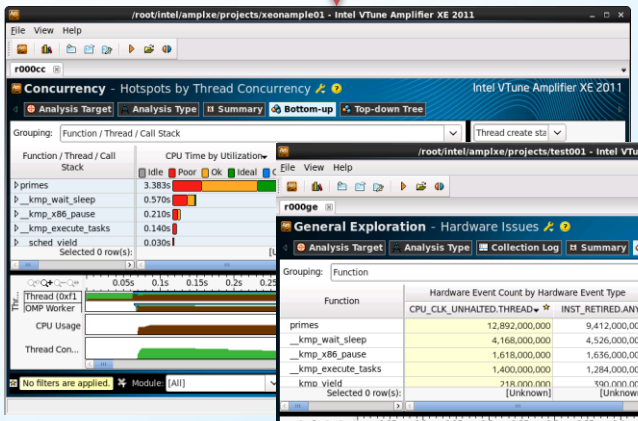
解析結果の操作方法

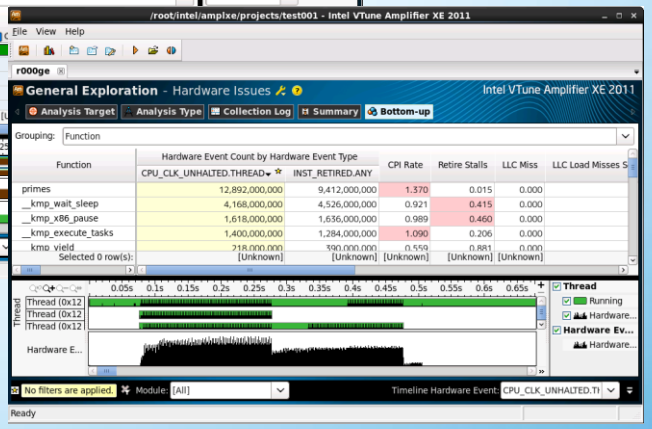
最初の画面ではサマリーが表示される

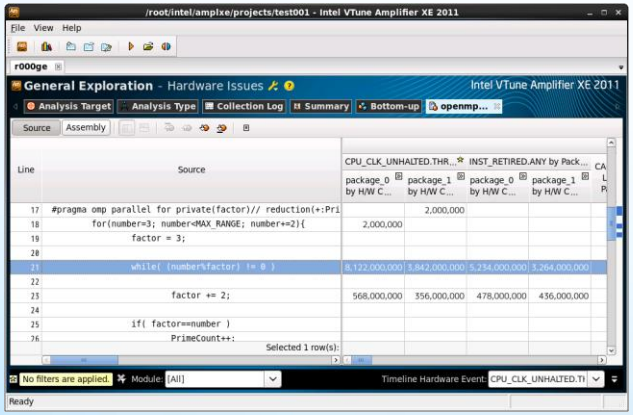




Bottom-up をクリック







ソースコード行ごとの情報が表示される

解析タイプにより異なる表示方法の
特定箇所をダブルクリック

必須

インテル® VTune™ Amplifier XE のコマンドライン
※MPI アプリケーションを解析する場合にはコマンドラインからの解析が必須

コマンドからインテル® VTune Amplifier XE を実行する

- 1プロセスのみの解析

  amplxe-cl -collect *<Analysis Type>* -- *<program>*

  例: amplxe-cl -collect snb_general-exploration -- ./a.out

- 複数プロセスの解析 (MPIアプリケーション)

  次ページ

必須

インテル® VTune™ Amplifier XE を使用して、複数プロセスの解析を行う場合

- インテル® VTune Amplifier XE は、一部のサンプリング方式では Performance Monitoring Unit (PMU) からデータを取得する

PMUを使用する解析タイプ例
<Analysis Type> =advanced-hotspots, general-exploration, bandwidth

以下のいづれかの方法で可能

```
# mpiexec.hydra -genvall -gtool "amplxe-cl -r <my_result> -collect
<analysis type>:all=exclusive" -n <n> <my_app> [my_app_ options]
```

```
# amplxe-cl -collect <Analysis Type> -- mpiexec.hydra -n 1 -host
hoge1 ./a.out …
```

または、a.out : -n 1 -host hoge2

```
# mpiexec.hydra -host host001 -n 1 amplxe-cl -collect <Analysis Type>
-result_dir <dir name> -- <program>: -host host001 -n 15 <program>:
-host host 002 -n 1 amplxe-cl -collect <Analysis Type> -result_dir <dir
name> -- <program>: -host host002 -n 15 …
```

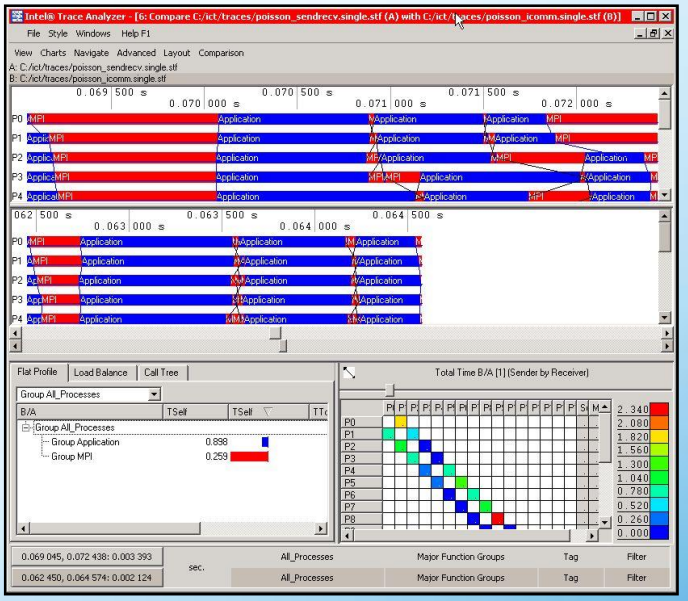

必須

インテル® Trace Analyzer/ Collector の使用方法

インテル® Trace Analyzer / Collectorの概要

- インテル® Trace Analyzer/Collector
  - MPI アプリケーションの動作やパフォーマンス問題を視覚化
  - プロファイリング統計とロードバランス、通信 hotspot の解析

- 機能
  - イベントベースのアプローチ
  - MPI 関数とユーザーコードを分離
  - 低いオーバーヘッド
  - 複数のプロファイルの比較
  - 強力な集計機能およびフィルタリング機能
  - MPI 正当性検証



インテル® Trace Analyzer/ Collector の動作テスト1 実行時実装

- コンパイルは通常通り行う

- 実行 (stf ファイルの生成)

  ＞ mpiexec.hydra -trace -n 8 ./test.exe

- インテル Trace Analyzer の起動

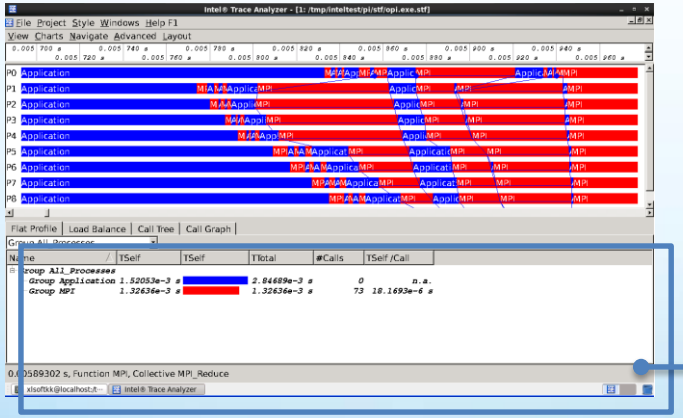
  ＞ traceanalyzer text.exe.stf

  または、以下コマンドでGUI起動後に stfファイルを開く

  ＞ traceanalyzer

インテル® Trace Analyzer/ Collector の動作テスト2

- stf ファイルを開いていない場合: [File]-[Open] より stfファイルを選択
- タイムラインを表示: [Charts]-[Event Timeline]
- タイムライン表示部分をマウスドラッグして拡大
- タイムラインの表示を変更することで Function Profile に表示される内容がフィルタリングされることを確認する



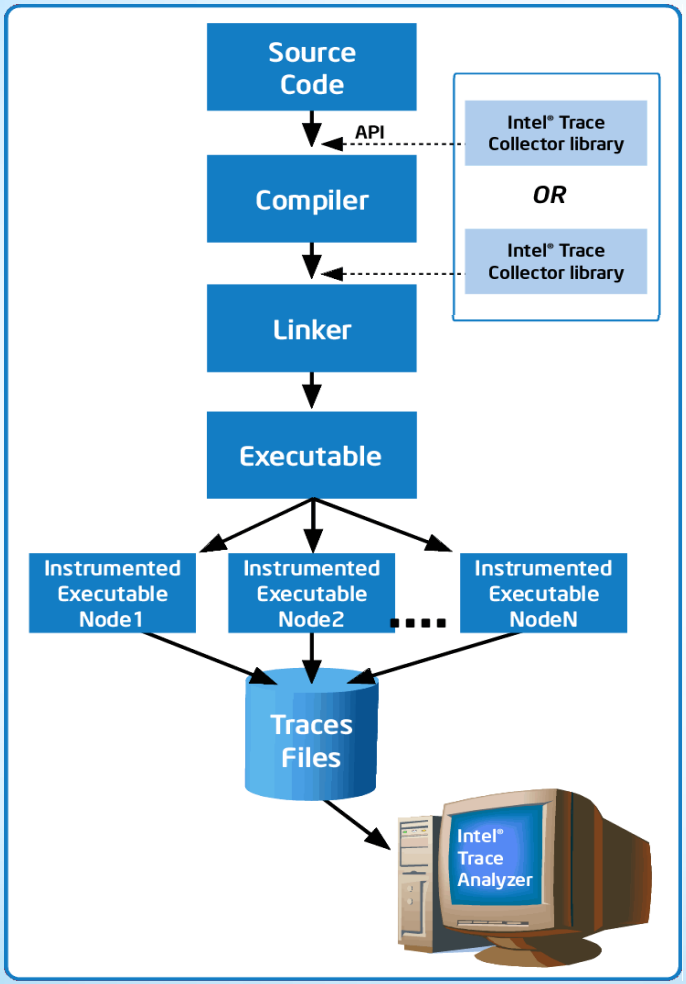
Function Profile

Tips: ショートカットキー

拡大(ズームイン):	i
縮小(ズームアウト):	o
ズームリセット:	r

必須

インテル® Trace Analyzer とインテル® Trace Collector



TC インテル® Trace Collector

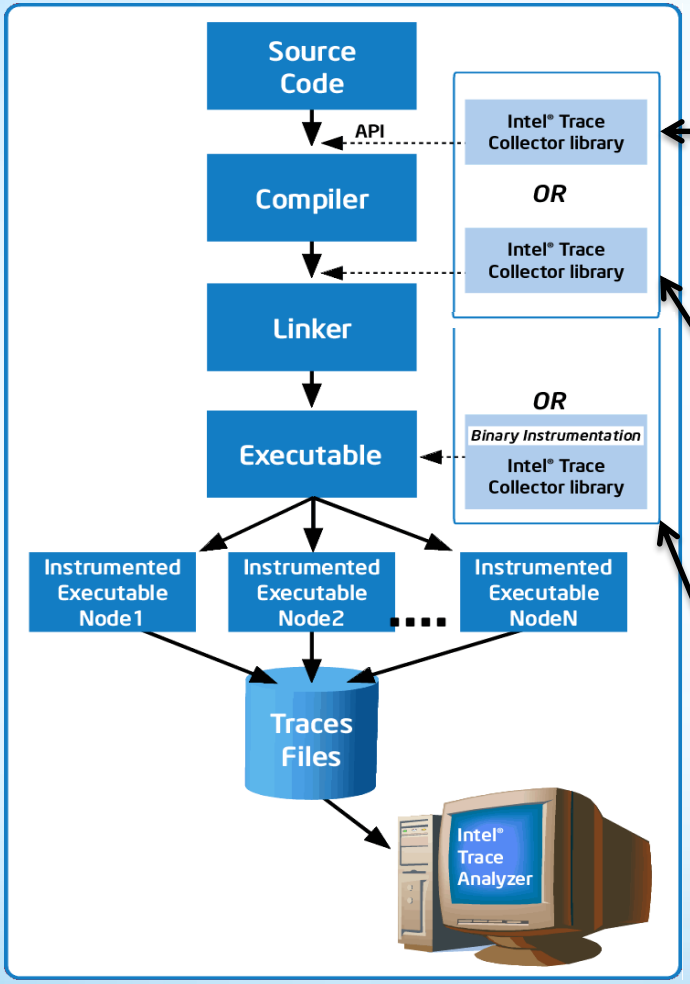
- MPI アプリケーションの解析を主目的とした情報収集ツール
- API、コンパイル時で実装することができ、解析情報は動的に収集される

TA インテル® Trace Analyzer

- インテル® Trace Collector が収集した解析情報を統計的に表示するツール
- 関数別、ユーザーコード/MPI別などにソートし、タイムライン表示やソースコード表示により解析結果を確認することができる

インテル® Trace Collector (TC) の実装

以下のいずれかの方法で実装



・組み込み関数の使用

ソースコードに組み込み関数を挿入してコンパイルすることで、TCが組み込まれたバイナリーが生成される。設定や環境変数により設定を変更することができる。

・コンパイル/リンク時

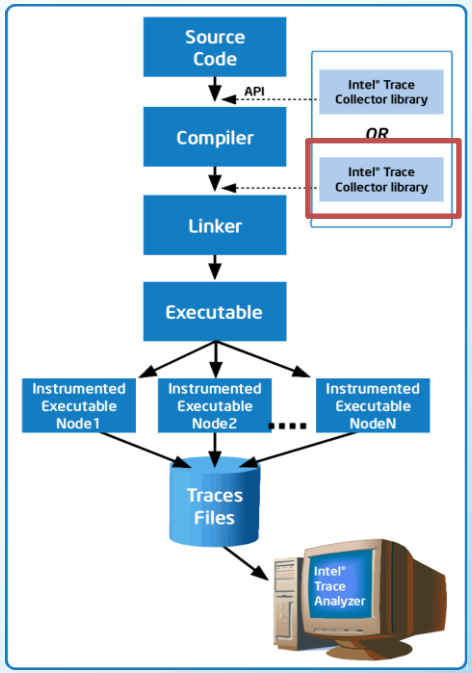
コンパイル時にTCに対応させるオプションを指定することができる。コンパイル時または後から環境変数によって動作を設定することができる。

・実行時

実行時に -trace オプションを指定することで解析可能。

コンパイル時のインテル® Trace Collector 実装 1

- コンパイル時に実装する目的
  - コンパイル時実装の場合、実行ファイルを実行するたびにトレースファイルが生成される
  - 入力データを複数パターン試す場合など、コンパイルせずに何度か実行する場合に、実装時間を削減することができる



ソースファイル → コンパイル時に実装 → 通常どおりの実行でトレースファイルが生成

コンパイル時のインテル® Trace Collector 実装 2 (バージョン 9.0 以降)

- コンパイル フォーマット

```
> mpiicc   sample.c   -trace -profile=vt
> mpiicpc  sample.cpp -trace -profile=vt
> mpiifort sample.f   -trace -profile=vt

> mpiicc sample.c  -trace -profile=vt
```

トレースの種類を決めるプロファイル・オプション

-profile=	概要
-lVT	トレースファイルアプリケーション終了時に生成する
-lVTfs	トレースファイルを随時生成する、Fale-safe 方式
-lVTmc	正確性チェックを追加 (エラー検出)

実行は通常通り

```
> mpiexec.hydra -n 8 ./a.out
```

コンパイル時のインテル® Trace Collector 実装 3 (バージョン 8.1 以前の利用方法、9.0 でも利用可能)

- TCライブラリーの選択

```
> mpiicc sample.c -L$VT_LIB_DIR -lVT
```

-lVT を以下のいずれかに変更することでトレース方法を変更することができる

ライブラリー		概要
-lVTnull	libVTnull.so	擬似ライブラリー。実行時にトレースファイルを生成しない
-lVT	libVT.so	トレースファイルアプリケーション終了時に生成する
-lVTfs	libVTfs.so	トレースファイルを随時生成する、Fale-safe 方式
-lVTmc	libVTmc.so	正確性チェックを追加 (エラー検出)
-lVTcs	libVTcs.so	シングルプロセスのみ生成してトレースファイルを生成

Table 1.4 Usage of Components
http://software.intel.com/sites/products/documentation/hpc/ics/itac/81/ITC_Reference_Guide/hh_goto.htm#1_2_System_Requirements_and_Supported_Features.htm

ソースビューの表示方法

1) –g オプションを指定してコンパイルし、実行時に環境変数、VT_PCTRACE を設定する。または事前に export (setenv) も可

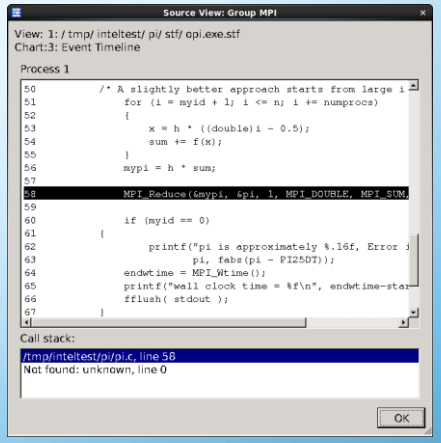
```
>mpiicc -g sample.c -o sample.exe -trace -O2
>mpiexec.hydra -genv VT_PCTRACE=5 -n 8 ./sample.exe
```

2) TA を起動して、sample.stf を開く

3) タイムライン表示、[Charts]-[Event Timeline] の任意の箇所を右クリックして [Details on Function] をクリック

4) [Show Source] ボタンをクリック

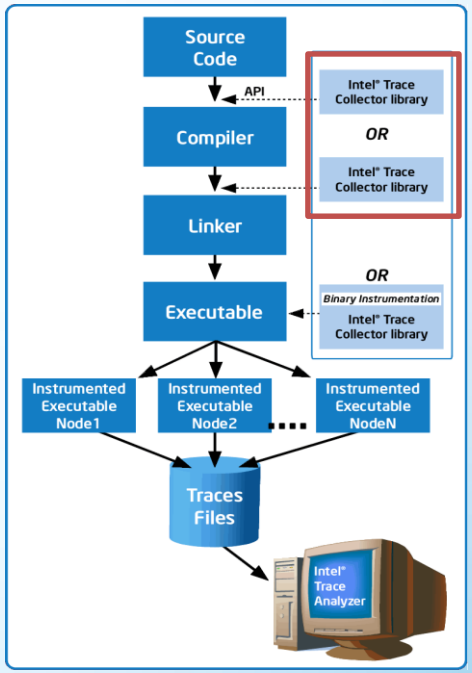
5) 該当箇所のソースコードが表示される



環境変数 VT_PCTRACE を設定することで、コールスタックのプログラムカウンター(PC)を記録し、ソースコードの位置と分析結果を紐付ける

組み込み関数 1

- 組み込み関数を使用する目的
  - トレースに必要な時間が長い場合や、大量のMPI関数をコールする際に、データを見やすくし、トレースファイルのサイズを小さくすることができる
  - 任意の箇所に関数を配置することができるため、高い柔軟性がある



ソースファイルに組み込み関数を追加 → コンパイル時に実装 → 通常どおりの実行でトレースファイルが生成

インテル® Trace Analyzer の基本機能

- マニュアル、Tutorial_Analyzing_MPI_Application.htm を参照

- トレース済みのサンプルファイル

  <Install dir>/examples/traces/

  poisson_sendrecv.single.stf:　MPI_sendrecv を用いたブロック通信

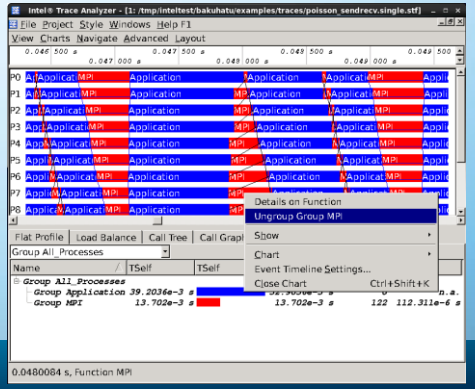
  poisson_icomm.single.stf:　ブロック無し通信への改良版

  インテル® Trace Analyzer で上記ファイルを開く

インテル® Trace Analyzer の基本機能

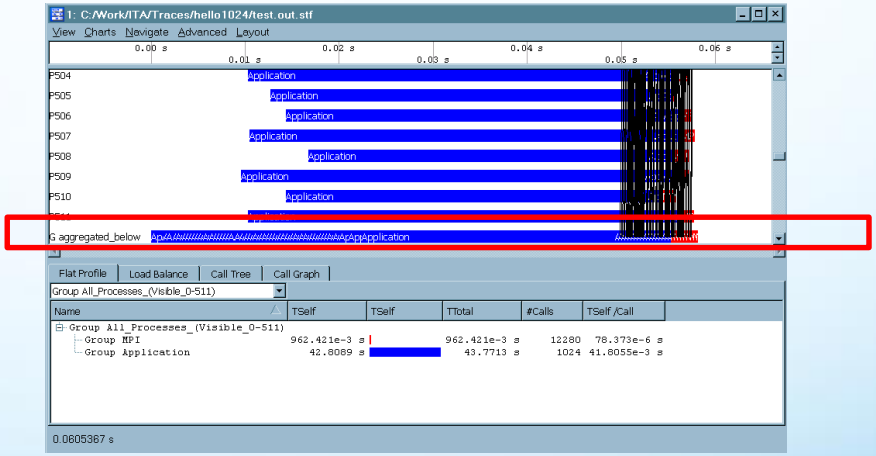
- タイムラインを表示 [Charts]-[Event Timeline]
  - グラフを拡大してアプリケーション (青色部分)とMPI (赤色部分)の関係を確認する
    - MPIタイムの比率が大きすぎないか
    - 各プロセスが均一か

- 問題の可能性のある箇所の詳細を確認
  - Event Timeline の赤色部分を右クリックし、[MPI Ungroup Group MPI] を選択すると使用されている MPI 関数の詳細が表示される



Advanced Aggregation: データの集約 1

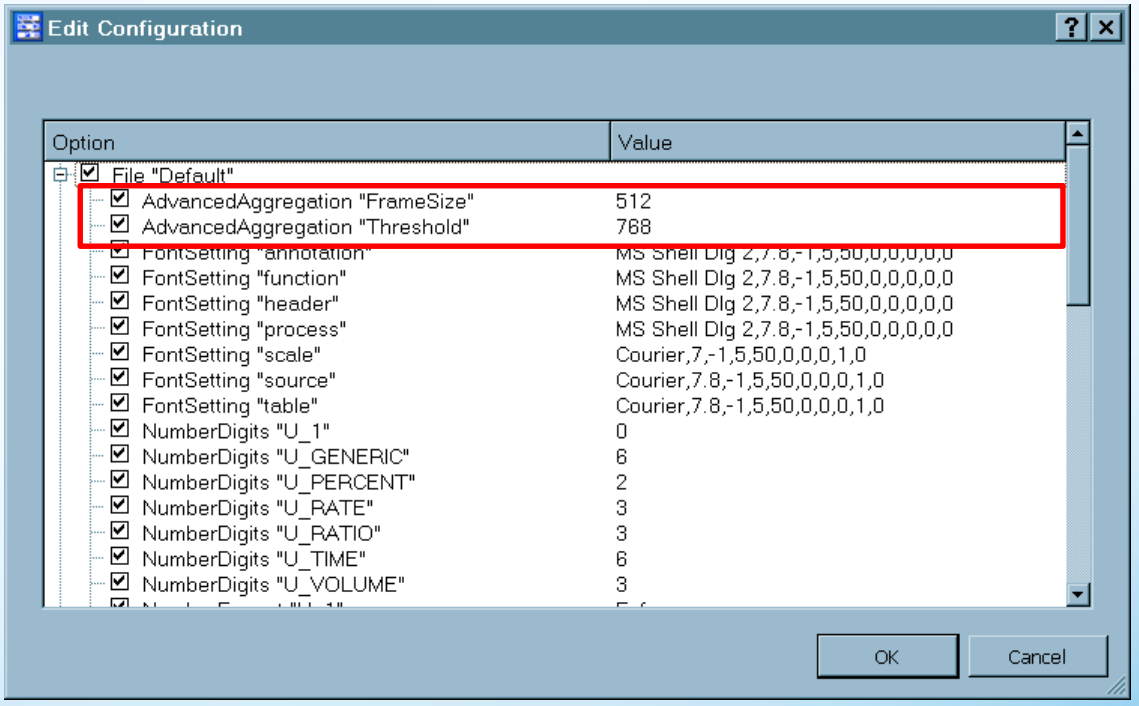
- インテル® Trace Analyzer 8.0.3 より実装された Advanced Aggregation 機能は、大量のデータを特定の事象ごとに集約して表示
  - プロセス数に応じてデータを集約する
  - 1000プロセス以上のデータを扱うことができ、初期値では 768 以上のプロセスは自動的に集約表示される



集約されたプロセスは纏められ、
1プロセスのように表示される

Advanced Aggregation: データの集約 2

- 自動集約される閾値は 変更可能
  [File]-[Edit Configuration] にて表示されるダイアログで設定



参考: MPI エラーの検出方法

システムB,C で使用可能
(システムA,D,Eでは使用不可)

MPI エラーの検出方法1

- Message Checking ライブラリーを使用してデッドロック、不正なメモリーアクセス、競合状態、MPIエラー等を自動検出

```
> mpiicc    sample.c    -trace -profile=vtmc
```

vtmc	Message Checking ライブラリーを指定

```
>mpiexec.hydra -genv VT_CHECK_TRACING on -genv VT_DEADLOCK_TIMEOUT 20s
 -genv VT_DEADLOCK_WARNING 25s -n 8 ./a.out
```

VT_CHECK_TRACING on	Message Checking のトレーシングをオン
VT_DEADLOCK_TIMEOUT 20s	停止した場合のタイムアウト指定 (20秒)
VT_DEADLOCK_WARNING 25s	停止した場合の警告を表示。デッドロックやロードインバランスの発見に有効 (25秒)

MPI エラーの検出方法2

デッドロックの検出例

- サンプルコードを入手
  http://www.shodor.org/refdesk/Resources/Tutorials/BasicMPI/deadlock.c

- libVTmc.so を使用してコンパイルし、デッドロックによる停止に対応できる設定を行い、トレースする (または、後記の実行時の実装などでも可能)

```
> mpiicc -g deadlock.c -o deadlock.exe -L${VT_LIB_DIR} -lVTmc ${VT_ADD_LIBS}

>mpiexec.hydra -genv VT_CHECK_TRACING on -genv VT_DEADLOCK_TIMEOUT 20s -genv
VT_DEADLOCK_WARNING 25s -n 2 ./deadlock.exe 0 80000
```

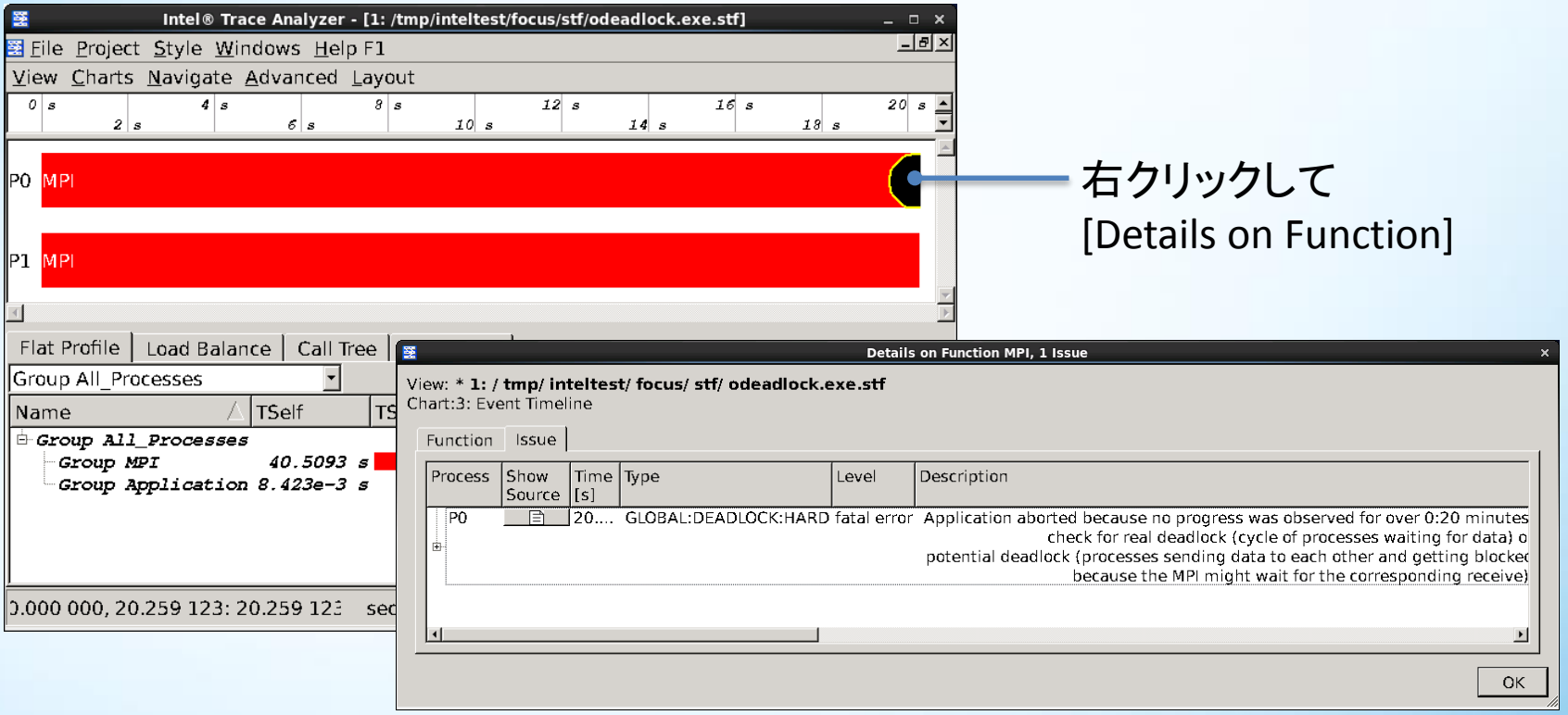
```
[0] ERROR: no progress observed in any process for over 0:20 minutes, aborting application
[0] WARNING: starting emergency trace file writing

[0] ERROR: GLOBAL:DEADLOCK:HARD: fatal error
[0] ERROR:    Application aborted because no progress was observed for over 0:20 minutes,
[0] ERROR:    check for real deadlock (cycle of processes waiting for data) or
[0] ERROR:    potential deadlock (processes sending data to each other and getting blocked
[0] ERROR:    because the MPI might wait for the corresponding receive).
[0] ERROR:    [0] no progress observed for over 0:20 minutes, process is currently in MPI call:
[0] ERROR:       MPI_Recv(*buf=0x7fff1cdb2474, count=800000, datatype=MPI_INT, source=1,
tag=999, comm=MPI_COMM_WORLD, *status=0x7fff1d0bf874)
[0] ERROR:       main (/tmp/inteltest/focus/deadlock.c:49)
[0] ERROR:       (/lib64/libc-2.12.so)
[0] ERROR:       (/tmp/inteltest/focus/odeadlock.exe)
```

```
[0] ERROR:    [1] no progress observed for over 0:20 minutes, process is currently in MPI call:
[0] ERROR:       MPI_Recv(*buf=0x7fffa4bd4ce4, count=800000, datatype=MPI_INT, source=0,
tag=999, comm=MPI_COMM_WORLD, *status=0x7fffa4ee20e4)
[0] ERROR:       main (/tmp/inteltest/focus/deadlock.c:49)
[0] ERROR:       (/lib64/libc-2.12.so)
[0] ERROR:       (/tmp/inteltest/focus/odeadlock.exe)
[0] INFO: Writing tracefile odeadlock.exe.stf in /tmp/inteltest/focus/stf

[0] INFO: GLOBAL:DEADLOCK:HARD: found 1 time (1 error + 0 warnings), 0 reports were suppressed
[0] INFO: Found 1 problem (1 error + 0 warnings), 0 reports were suppressed.

APPLICATION TERMINATED WITH THE EXIT STRING: Hangup (signal 1)
```

実行時に表示されるメッセージ

MPI エラーの検出方法3

TA による表示



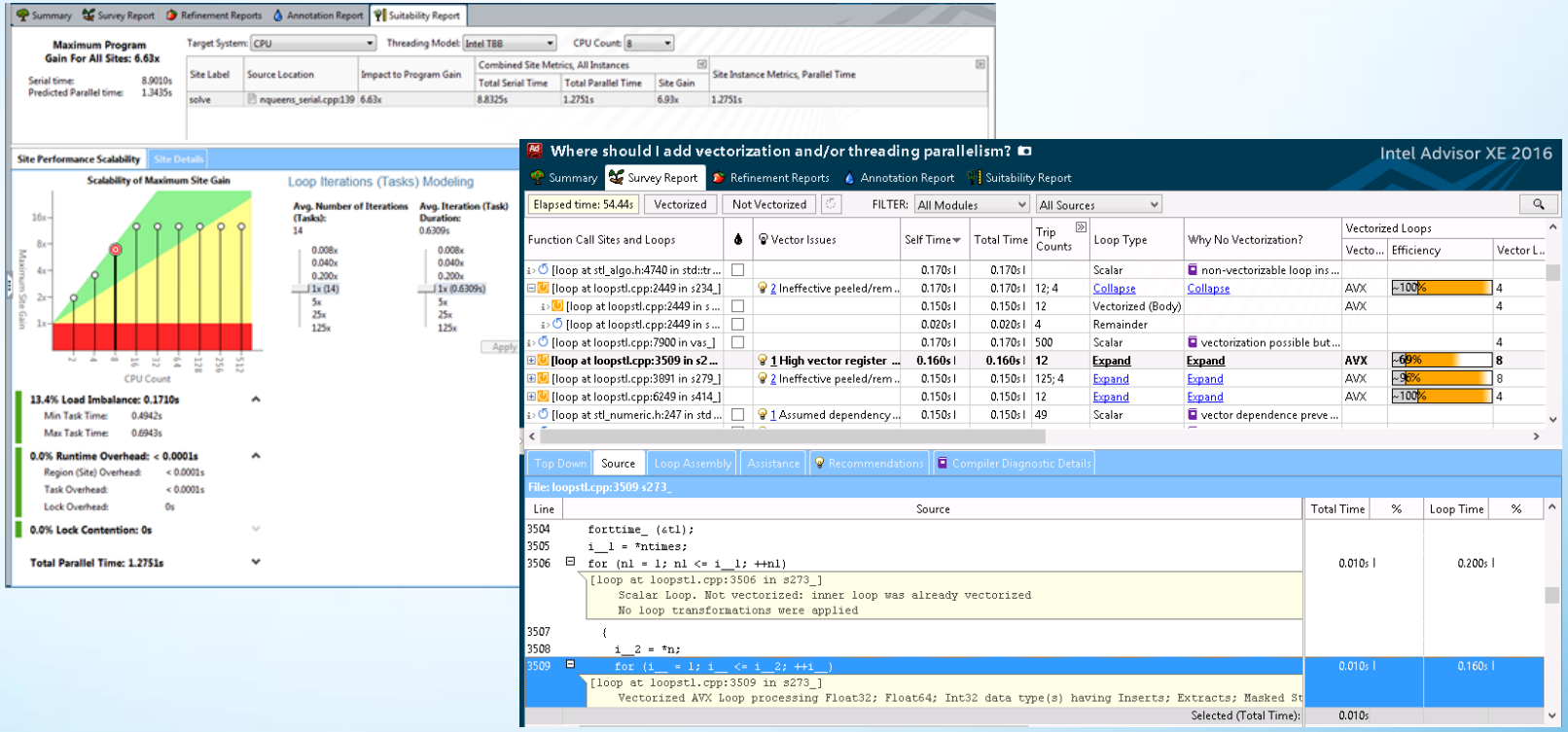
右クリックして
[Details on Function]

タイムライン表示、[Charts]-[Event Timeline] の黒丸を右クリックして
[Details on Function] をクリックし、[Issue] タブをクリックすると詳細が
表示される。

インテル® Advisor XE による並列化の設計手法

インテル® Advisor XE

- マルチスレッドによる並列化の可能性を検証するツール
  実装する前に、パフォーマンスの向上率や起こり得る問題を確認



※ 入門ガイド
https://software.intel.com/en-us/get-started-with-advisor

インテル® Advisor XE を使用するための準備

- -g オプションを指定してコンパイル

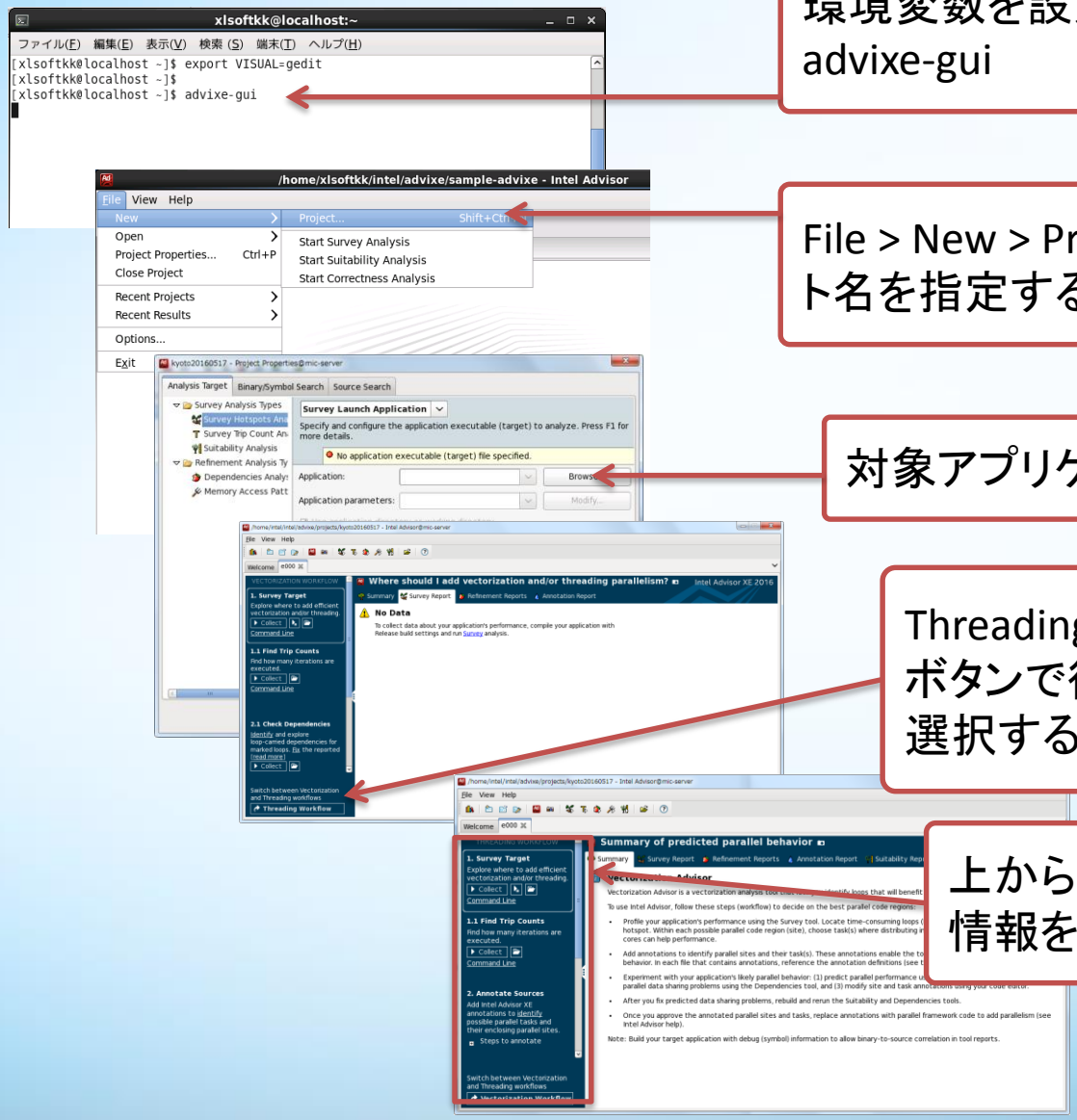
  例: icc -g sample_app.c

  ※-g オプションを指定してデバッグ情報を生成することで、
  エラー検出時にソースコードと連携して表示させることが出来る

- GUI または コマンドラインから実行

  次ページより手順記載

GUI からの利用手順



環境変数を設定し、次のコマンドを実行する
advixe-gui

File > New > Project にて、任意のプロジェクト名を指定する

対象アプリケーションを指定する

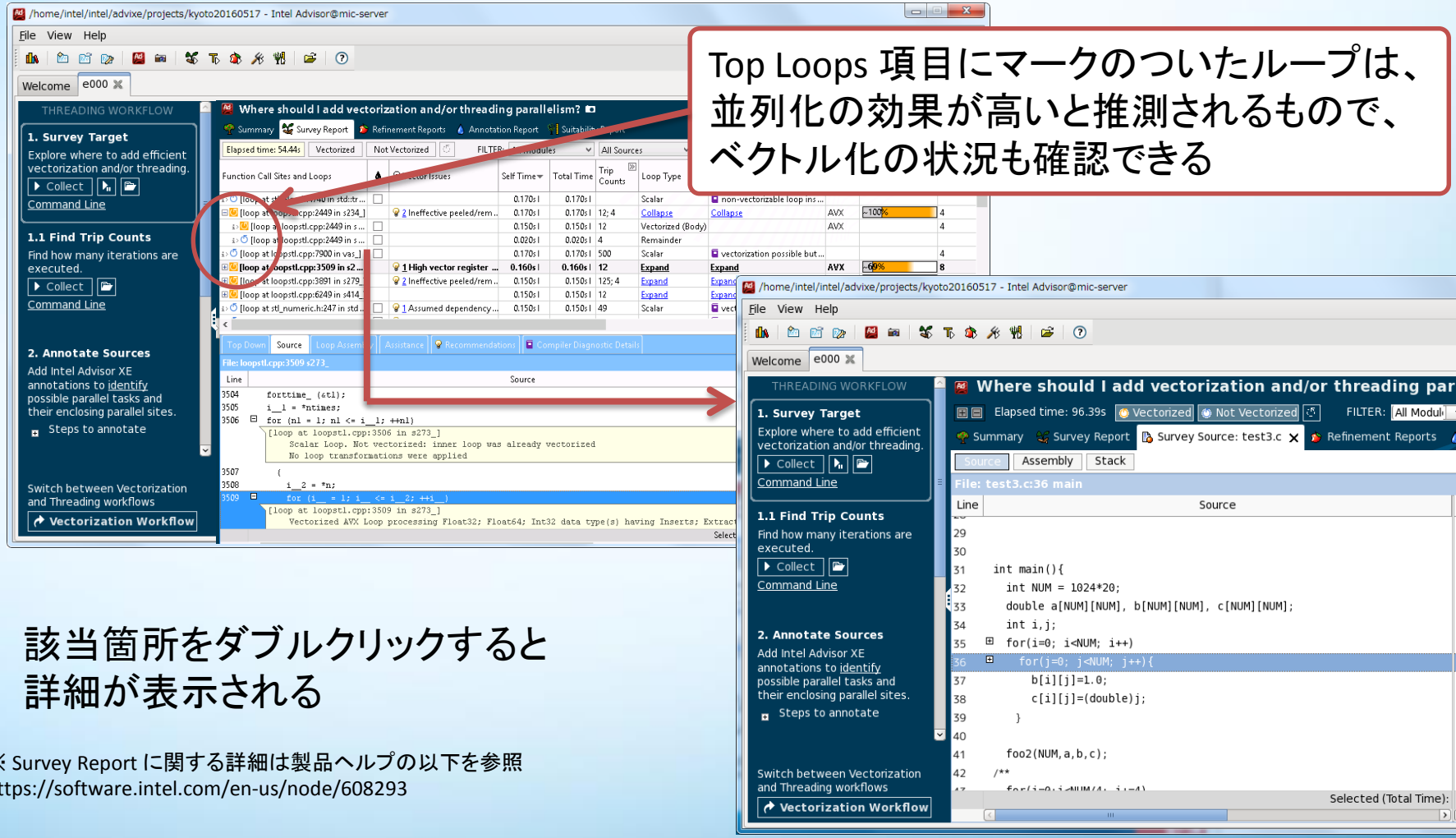
Threading/Vectorization Workflow ボタンで得たいアドバイスのものを選択する

上から順番にフローをクリックし、情報を得る

必須

Survey Report 画面

CPU 時間を費やしている関数およびループが表示される



Top Loops 項目にマークのついたループは、並列化の効果が高いと推測されるもので、ベクトル化の状況も確認できる

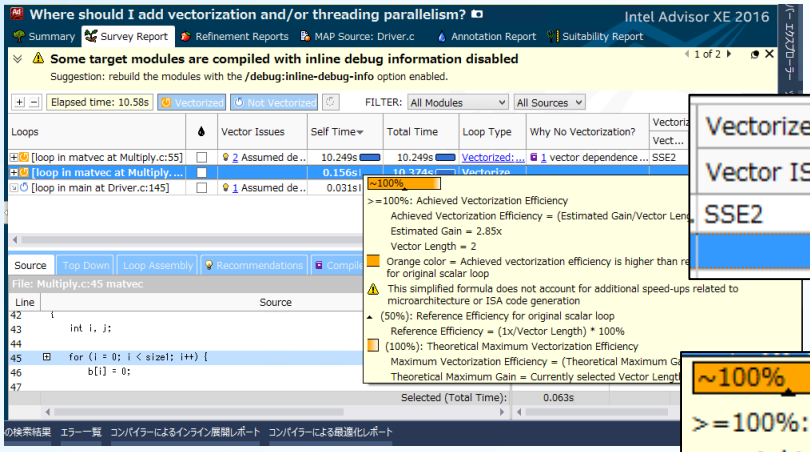
該当箇所をダブルクリックすると詳細が表示される

※ Survey Report に関する詳細は製品ヘルプの以下を参照
https://software.intel.com/en-us/node/608293

必須

ベクトル化に関するアドバイス

Vectorization Workflow を選択した場合、Survey Report にはループ毎のベクトル化状況が表示される



Vectorized Loops				Instruction Set...	
Vector ISA	Efficiency	Gain Estimate	VL (Vector Length)	Traits	Data T...
SSE2	~100%	2.85x	2		Float32...
	~71%	1.42x	2		Float64

~100%

>=100%: Achieved Vectorization Efficiency

Achieved Vectorization Efficiency = (Estimated Gain/Vector Length) * 100%

Estimated Gain = 2.85x

Vector Length = 2

Orange color = Achieved vectorization efficiency is higher than reference efficiency for original scalar loop

This simplified formula does not account for additional speed-ups related to microarchitecture or ISA code generation

(50%): Reference Efficiency for original scalar loop

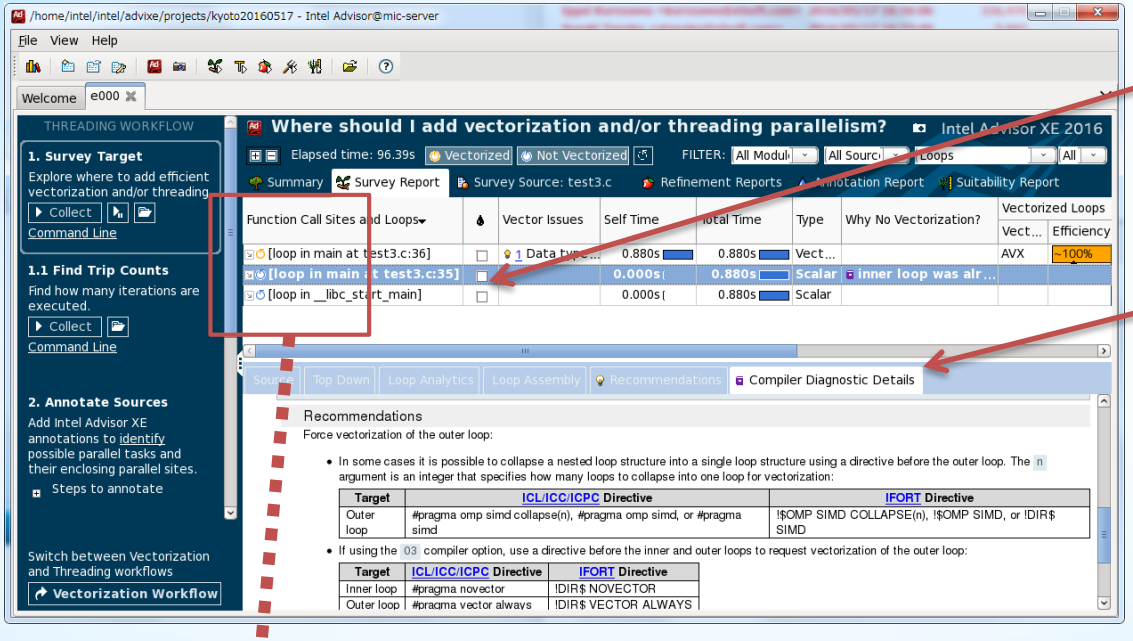
Reference Efficiency = (1x/Vector Length) * 100%

(100%): Theoretical Maximum Vectorization Efficiency

Maximum Vectorization Efficiency = (Theoretical Maximum Gain/Vector Length) * 100%

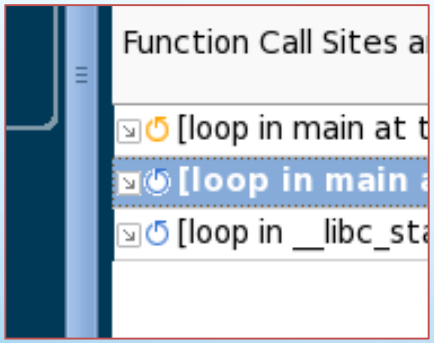
Theoretical Maximum Gain = Currently selected Vector Length = 2

ベクトル化できていないループをベクトル化するための情報を得る手順



ベクトル化できていない
ループの項目をクリックし

Compiler Diagnostic Details
タブをクリックすることで
ベクトル化のアドバイスを
得えることができる




ベクトル化できているループ


ベクトル化できていないループ

マルチスレッドに関するアドバイス

- 実装する前に、パフォーマンスの向上率や起こり得る問題を確認

作業手順

1. Survey Target
処理に時間を要する箇所を探し、並列化の候補を決定する

2. Annotate Sources
Annotation（インテル Advisor XE が提供するマクロ処理）を
ソースコードに追記して、並列処理のモデルを作成する

3. Check Suitability
作成した並列処理のモデルに対して、性能向上率を検証する

4. Check Correctness
マルチスレッドを実装した際に起こり得る問題を確認する

5. Add Parallel Framework
1. ～4. で確認した情報を元に、実際にマルチスレッド化を行う

※ チュートリアル
C/C++言語: https://software.intel.com/en-us/advisorxe_2015_tut_lin_c
Fortran言語: https://software.intel.com/en-us/advisorxe_2015_tut_lin_f

Annotation の追加方法(C/C++ 言語)

```
#include "advisor-annotate.h"

～ 省略 ～

ANNOTATE_SITE_BEGIN(site1);

for(i=0; i<max; i++){
    ANNOTATE_TASK_BEGIN(task1);
    hoge(i);
    ANNOTATE_TASK_END();
}

ANNOTATE_SITE_END();
```

ヘッダファイルをインクルードする

並列化対象となるループ(または関数)
全体を ANNOTATE_SITE_BEGIN(sitename)
～ ANNOTATE_SITE_END() でくくる

ループ(または関数)の内部について、並列に実行させるタスク(処理)を
ANNOTATE_TASK_BEGIN(taskname) ～
ANNOTATE_TASK_END() でくくる

コンパイル
例) icc -g -O2 -c sample.c -I${ADVISOR_XE_2013_DIR}/include
リンク
例) icc sample.o -ldl

※ Annotation に関する詳細は製品ヘルプの以下を参照
https://software.intel.com/en-us/intel-advisor-2016-user-guide-linux

Annotation の追加方法(Fortran 言語)

```
use advisor_annotate

～ 省略 ～

call annotate_site_begin(site1)

do i=0, i<max
  call annotate_task_begin(task1)
  call hoge(i)
  call annotate_task_end()
enddo

call annotate_site_end()
```

モジュールの利用宣言を追加する

並列化対象となるループ(または関数)
全体を call annotate_site_begin(sitename)
～ call annotate_site_end() でくくる

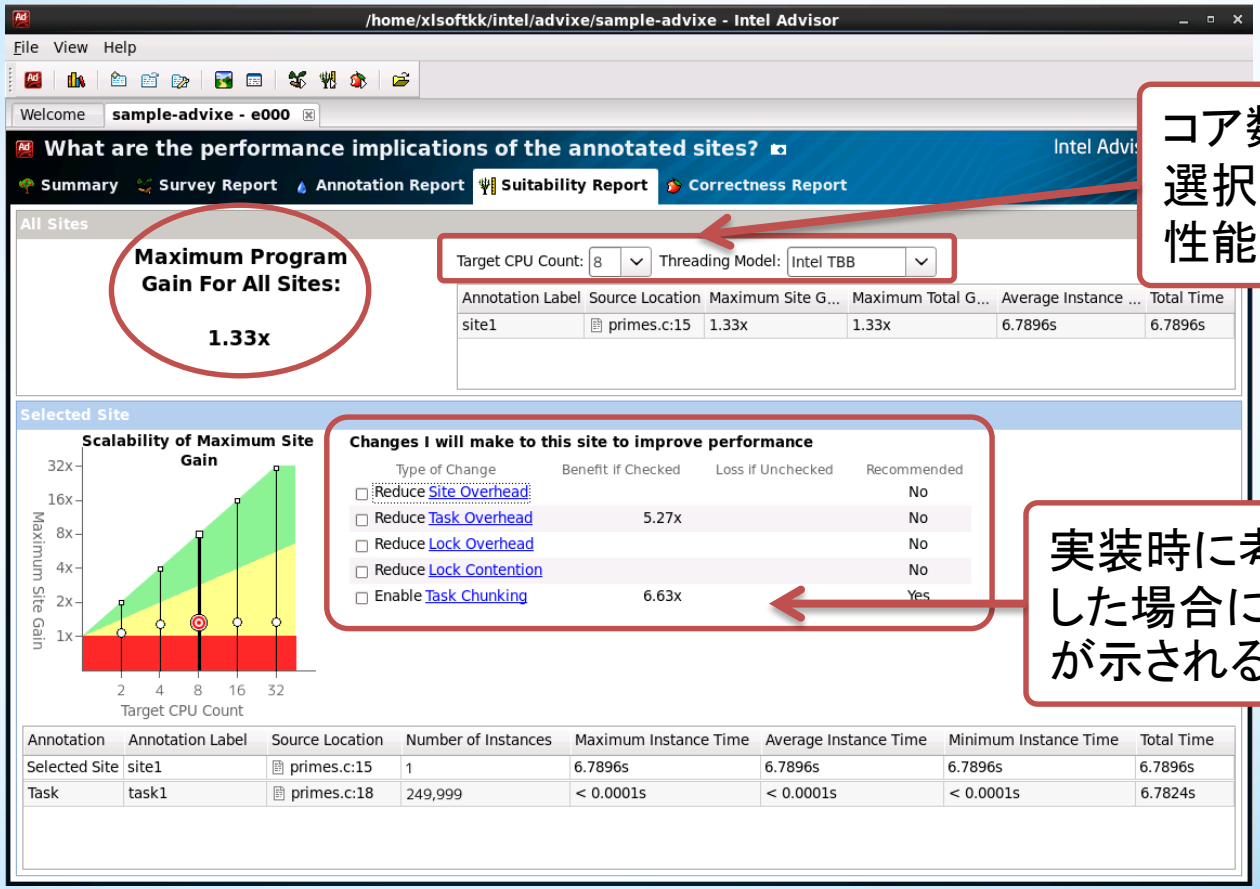
ループ(または関数)の内部について、並列に実行させるタスク(処理)を
call annotate_task_begin(taskname) ～ call annotate_task_end() でくくる

コンパイル
例) ifort -g -O2 -c sample.f90 -I${ADVISOR_XE_2013_DIR}/include/intel64
リンク
例) ifort sample.o -L${ADVISOR_XE_2013_DIR}/lib64 -ladvisor

※ Annotation に関する詳細は製品ヘルプの以下を参照
https://software.intel.com/en-us/intel-advisor-2016-user-guide-linux

Suitability Report 画面

Annotation に基づいた、並列実行時の性能向上率が表示される



コア数とスレッド化方法を選択すると、その条件での性能向上率を確認できる

実装時に考慮すべき点と、適用した場合に改善される性能効率が示される

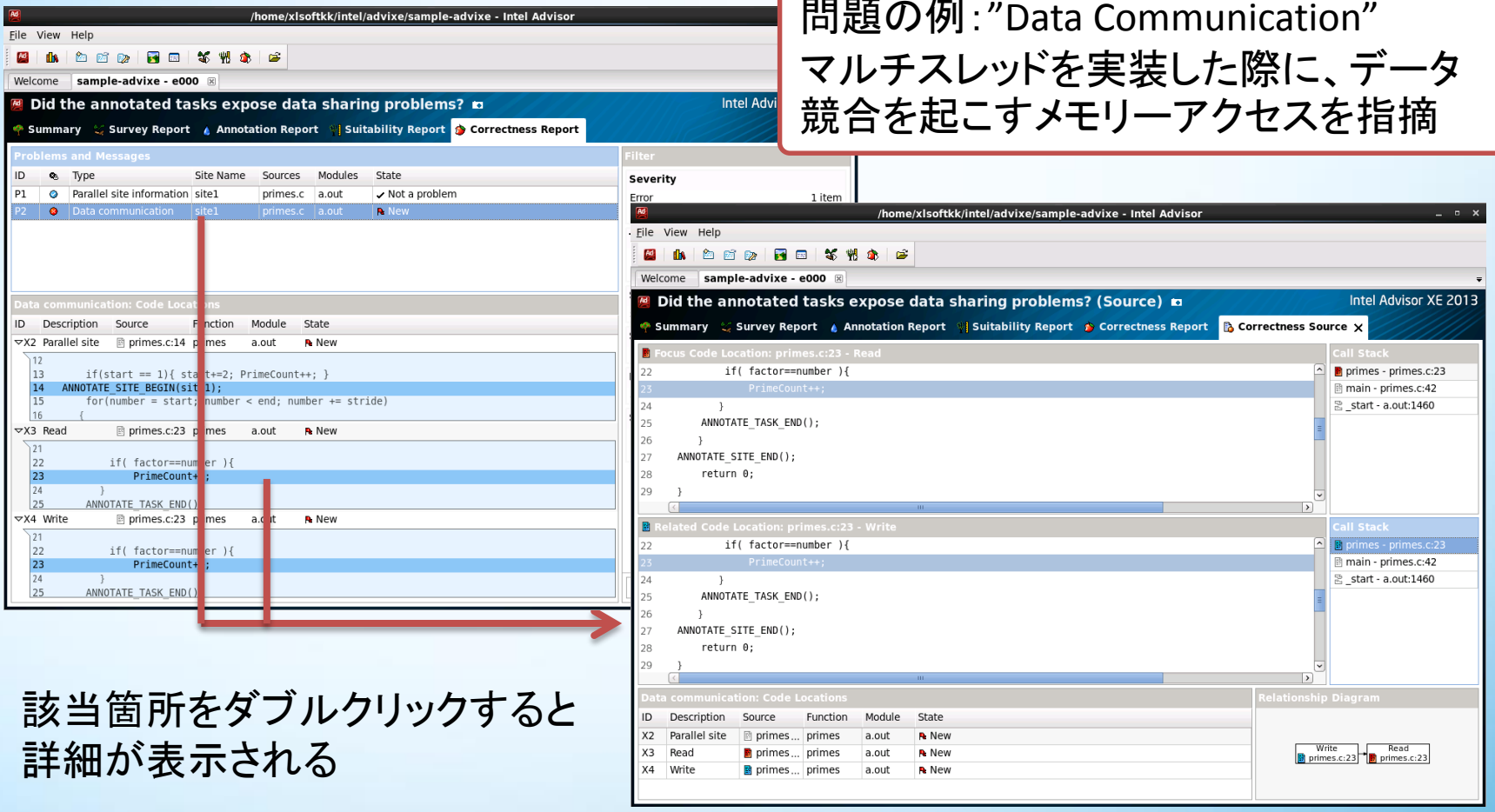
※ Suitability Report に関する詳細は製品ヘルプの以下を参照
https://software.intel.com/en-us/node/608272

必須

Correctness Report 画面

エラーの種類と該当箇所が表示される

問題の例：”Data Communication”
マルチスレッドを実装した際に、データ競合を起こすメモリーアクセスを指摘



該当箇所をダブルクリックすると詳細が表示される

※ Correctness Report に関する詳細は製品ヘルプの以下を参照
https://software.intel.com/en-us/node/608104

必須

コマンドラインからの利用手順

advixe-cl -collect=survey -project-dir=hoge ./a.out ②

インテル® Advisor XE のコマンドを実行

必要に応じて、検出結果が保存されたフォルダ(上記の場合はフォルダ hoge)を GUI 利用可能なシステムにコピーして、環境変数を設定

advixe-gui

インテル® Advisor XE GUI の起動コマンドを実行

File > Open > Result にてリザルトファイル(拡張子 .advixe)を開く

※コマンドラインからの利用手順に関する詳細は製品ヘルプの以下を参照
https://software.intel.com/en-us/node/608400

コマンドラインからの利用手順 つづき

コマンド記述方法

advixe-cl -collect=<string> [-option] [--] <target> [<target options>]

<string>	
survey	処理時間の計測
suitability	性能向上率を推定
correctness	並列時の問題を検出

[-option]
詳細は、“advixe-cl -help” の出力を参照

例：結果を保存するディレクトリを指定するオプション
-project-dir=<PATH>

コマンド例:

advixe-cl -collect=survey -project-dir=hoge ./a.out

※この場合、./hoge にリザルト ファイルが保存される

※ コマンドラインオプションの詳細は製品ヘルプの以下を参照
https://software.intel.com/en-us/node/608410

最適化に関する注意事項

Optimization Notice

Intel's compilers may or may not optimize to the same degree for non-Intel microprocessors for optimizations that are not unique to Intel microprocessors. These optimizations include SSE2, SSE3, and SSSE3 instruction sets and other optimizations. Intel does not guarantee the availability, functionality, or effectiveness of any optimization on microprocessors not manufactured by Intel. Microprocessor-dependent optimizations in this product are intended for use with Intel microprocessors. Certain optimizations not specific to Intel microarchitecture are reserved for Intel microprocessors. Please refer to the applicable product User and Reference Guides for more information regarding the specific instruction sets covered by this notice.

Notice revision #20110804

Optimization Notice

最適化に関する注意事項

インテル コンパイラーは、互換マイクロプロセッサー向けには、インテル製マイクロプロセッサー向けと同等レベルの最適化が行われない可能性があります。これには、インテル ストリーミング SIMD 拡張命令 2 (インテル SSE2)、インテル ストリーミング SIMD 拡張命令 3 (インテル® SSE3)、ストリーミング SIMD 拡張命令 3 補足命令 (SSSE3) 命令セットに関連する最適化およびその他の最適化が含まれます。インテルでは、インテル製ではないマイクロプロセッサーに対して、最適化の提供、機能、効果を保証していません。本製品のマイクロプロセッサー固有の最適化は、インテル製マイクロプロセッサーでの使用を目的としています。インテル® マイクロアーキテクチャーに非固有の特定の最適化は、インテル製マイクロプロセッサー向けに予約されています。この注意事項の適用対象である特定の命令セットの詳細は、該当する製品のユーザー・リファレンス・ガイドを参照してください。

改訂 #20110804