Red Hat Enterprise Linux 8

RHEL 8 での C および C ++ アプリケーションの開発

開発者用ワークステーションのセットアップ、および Red Hat Enterprise Linux 8 での C および C++ アプリケーションの開発とデバッグ

Last Updated: 2020-09-04

Red Hat Enterprise Linux 8 RHEL 8 での C および C ++ アプリケーションの開発

開発者用ワークステーションのセットアップ、および Red Hat Enterprise Linux 8 での C および C++ アプリケーションの開発とデバッグ

Olga Tikhomirova
otikhomi@redhat.com

Levi Valeeva
lvaleeva@redhat.com

Vladimír Slávik
Red Hat Customer Content Services

法律上の通知

概要

本書は、アプリケーション開発に最適なエンタープライズプラットフォームとして、Red Hat Enterprise Linux 8 を活用するさまざまな機能とユーティリティーを説明します。

目次

RED HAT ドキュメントへのフィードバック

ご意見ご要望をお聞かせください。ドキュメントの改善点はございませんか。改善点を報告する場合は、以下のように行います。

- 特定の文章に簡単なコメントを記入する場合は、以下の手順を行います。
    1. ドキュメントの表示が **Multi-page HTML** 形式になっていて、ドキュメントの右上端に **Feedback** ボタンがあることを確認してください。
    2. マウスカーソルで、コメントを追加する部分を強調表示します。
    3. そのテキストの下に表示される **Add Feedback** ポップアップをクリックします。
    4. 表示される手順に従ってください。
- より詳細なフィードバックを行う場合は、Bugzilla のチケットを作成します。
    1. Bugzilla の Web サイトにアクセスします。
    2. Component で **Documentation** を選択します。
    3. **Description** フィールドに、ドキュメントの改善に関するご意見を記入してください。ドキュメントの該当部分へのリンクも記入してください。
    4. **Submit Bug** をクリックします。

第1章 開発ワークステーションの設定

Red Hat Enterprise Linux 8 は、カスタムアプリケーションの開発に対応します。開発者がカスタムアプリケーションを開発できるように、必要なツールやユーティリティーを使用して、システムを設定する必要があります。本章では、開発で最も一般的なユースケースと、インストールする項目を紹介します。

1.1. 前提条件

- グラフィカル環境のシステムがインストールされ、サブスクライブされている。

1.2. デバッグおよびソースのリポジトリーの有効化

Red Hat Enterprise Linux の標準インストールでは、デバッグリポジトリーおよびソースリポジトリーが有効になっていません。このリポジトリーには、システムコンポーネントのデバッグとパフォーマンスの測定に必要な情報が含まれます。

手順

- ソースおよびデバッグの情報パッケージチャンネルを有効にします。

```
# subscription-manager repos --enable rhel-8-for-$(uname -i)-baseos-debug-rpms
# subscription-manager repos --enable rhel-8-for-$(uname -i)-baseos-source-rpms
# subscription-manager repos --enable rhel-8-for-$(uname -i)-appstream-debug-rpms
# subscription-manager repos --enable rhel-8-for-$(uname -i)-appstream-source-rpms
```

$(uname -i) の部分は、システムのアーキテクチャーで一致する値に自動的に置き換えられます。

アーキテクチャー名	値
64 ビット Intel および AMD	x86_64
64 ビット ARM	aarch64
IBM POWER	ppc64le
IBM Z	s390x

1.3. アプリケーションのバージョンを管理するための設定

複数の開発者が関わるプロジェクトではすべて、効果的なバージョン管理が必須になります。Red Hat Enterprise Linux には、Git という名前の分散型バージョン管理システムが同梱されています。

手順

1. **git** パッケージをインストールします。

```
# yum install git
```

2. 任意で、Git コミットに関連付ける名前と、メールアドレスを設定します。

```
$ git config --global user.name "Full Name"
$ git config --global user.email "email@example.com"
```

Full Name と **email@example.com** を、お客様の名前とメールアドレスに置き換えます。

3. 任意で、Git で開始するデフォルトのテキストエディターを変更するには、**core.editor** 設定オプションの値を設定します。

```
$ git config --global core.editor command
```

command を、テキストエディターを起動するのに使用するコマンドに置き換えます。

関連情報

- Git およびチュートリアルの Linux の man ページ:

```
$ man git
$ man gittutorial
$ man gittutorial-2
```

多くの Git コマンドには、独自の man ページがあります。例は、**git-commit(1)** を参照してください。

- **Git ユーザーマニュアル** - Git の HTML ドキュメントは **/usr/share/doc/git/user-manual.html** にあります。
- Pro Git - オンライン版の **Pro Git** ブックでは、Git、概念、用途が詳細に説明されています。
- Reference - オンライン版の Git の Linux man ページ

1.4. C および C++ でアプリケーションを開発するための設定

Red Hat Enterprise Linux には、C および C++ のアプリケーションを作成するツールが同梱されています。

前提条件

- デバッグリポジトリーおよびソースリポジトリーが有効である。

手順

1. GNU Compiler Collection (GCC)、GNU Debugger (GDB) などの開発ツールが含まれる **Development Tools** パッケージグループをインストールします。

```
# yum group install "Development Tools"
```

2. **clang** コンパイラー、**lldb** デバッガーなどの LLVM ベースのツールチェインをインストールします。

```
# yum install llvm-toolset
```

3. 必要に応じて、Fortran 依存関係用に、GNU Fortran コンパイラーをインストールします。

```
# yum install gcc-gfortran
```

1.5. アプリケーションをデバッグするための設定

Red Hat Enterprise Linux には、内部のアプリケーションの動作を分析してトラブルシューティングを行うためのデバッグおよび計測のツールが同梱されています。

前提条件

- デバッグリポジトリーおよびソースリポジトリーが有効である。

手順

1. デバッグに役立つツールをインストールします。

```
# yum install gdb valgrind systemtap ltrace strace
```

2. **debuginfo-install** ツールを使用するには、**yum-utils** パッケージをインストールします。

```
# yum install yum-utils
```

3. 環境設定用の SystemTap ヘルパースクリプトを実行します。

```
# stap-prep
```

stap-prep は、現在 **実行中** のカーネルに関連するパッケージをインストールすることに注意してください。これは、実際にインストールされているカーネルと異なる場合があります。**stap-prep** が正しい **kernel-debuginfo** パッケージおよび **kernel-headers** パッケージをインストールするには、**uname -r** コマンドを使用して現在のカーネルバージョンを再度チェックし、必要に応じてシステムを再起動します。

4. **SELinux** ポリシーで、関連するアプリケーションを正常に実行できるだけでなく、デバッグ状況でも実行できるようになっていることを確認してください。詳細は「SELinux の使用」を参照してください。

関連情報

- *7章 デバッグ情報を使用したデバッグの有効化*

1.6. アプリケーションのパフォーマンスを測定するための設定

Red Hat Enterprise Linux には、開発者がアプリケーションのパフォーマンス低下の原因を特定できるように支援するアプリケーションが同梱されています。

前提条件

- デバッグリポジトリーおよびソースリポジトリーが有効である。

手順

1. パフォーマンス測定用のツールをインストールします。

```
# yum install perf papi pcp-zeroconf valgrind strace sysstat systemtap
```

2. 環境設定用の SystemTap ヘルパースクリプトを実行します。

```
# stap-prep
```

stap-prep は、現在 **実行中** のカーネルに関連するパッケージをインストールすることに注意してください。これは、実際にインストールされているカーネルと異なる場合があります。**stap-prep** が正しい **kernel-debuginfo** パッケージおよび **kernel-headers** パッケージをインストールするには、**uname -r** コマンドを使用して現在のカーネルバージョンを再度チェックし、必要に応じてシステムを再起動します。

3. Performance Co-Pilot (PCP) コレクターサービスを有効にして開始します。

```
# systemctl enable pmcd && systemctl start pmcd
```

パート I. C または C++ のアプリケーションの作成

Red Hat は、C 言語および C++ 言語を使用してアプリケーションを構築するツールを提供しています。本パートでは、最も一般的な開発タスクを一部記載します。

第2章 GCC でのビルドコード

本章では、ソースコードを実行可能なコードに変換する必要のある状況を説明します。

2.1. コード形式間の関係

前提条件

- コンパイルとリンクの概念を理解している。

考えられるコード形式

C 言語および C++ 言語には、以下のコード形式があります。

- C 言語または C++ 言語で記述された **ソースコード**。プレーンテキストファイルとして公開されます。
  このファイルは通常、**.c**、**.cc**、**.cpp**、**.h**、**.hpp**、**.i**、**.inc** などの拡張子を使用します。サポートされる拡張子およびその解釈の一覧は、gcc の man ページを参照してください。

  ```
  $ man gcc
  ```

- **コンパイラー** で、ソースコードを **コンパイル** して作成する **オブジェクトコード**。これは中間形式です。
  オブジェクトコードファイルは、拡張子 **.o** を使用します。

- **リンカー**でオブジェクトコードを**リンク** して作成する **実行可能なコード**。
  Linux アプリケーションの実行ファイルは、ファイル名の拡張子を使用しません。共有オブジェクト (ライブラリー) の実行ファイルは、**.so** のファイル名の拡張子を使用します。

注記

静的リンク用のライブラリーアーカイブファイルも存在します。これは、ファイル名拡張子 **.a** を使用するオブジェクトコードのバリアントです。静的リンクは推奨されません。「静的リンクおよび動的リンク」を参照してください。

GCC でのコード形式の処理

ソースコードから実行可能なコードを生成するには、2 つの手順を行います。必要となるアプリケーションまたはツールはそれぞれ異なります。GCC は、コンパイラーとリンカーのどちらにも、インテリジェントドライバーとして使用できます。これにより、必要なアクション (コンパイルおよびリンク) のいずれかに **gcc** コマンドを 1 つを使用できます。GCC は、自動的にアクションとそのシーケンスを選択します。

1. ソースファイルを、オブジェクトファイルにコンパイルする
2. オブジェクトファイルおよびライブラリーをリンクする (以前にコンパイルしたソールも含む)。

ステップ 1、ステップ 2、ステップ 1 と 2 の両方を実行するために、GCC を実行することができます。これは、入力タイプや必要とされる出力タイプにより決定します。

大規模なプロジェクトには、アクションごとに個別に GCC を実行するビルドシステムが必要なため、GCC が両方同時に実行できる場合でも 2 つの異なるアクションとしてコンパイルとリンクを実行することを検討することが推奨されます。

関連情報

- 「オブジェクトコードへのソースファイルのコンパイル」
- 「実行ファイルを作成するコードのリンク」

2.2. オブジェクトコードへのソースファイルのコンパイル

オブジェクトコードファイルを、実行ファイルから直接作成するのではなく、ソースファイルから作成するには、GCC で、オブジェクトコードファイルのみを出力として作成するように必要があります。このアクションは、大規模なプロジェクトのビルドプロセスの基本操作となります。

前提条件

- C または C++ のソースコードファイルがある。
- GCC をシステムにインストールしておく。

手順

1. ソースコードファイルが含まれるディレクトリーに移動します。
2. **-c** オプションを指定して **gcc** を実行します。

```
$ gcc -c source.c another_source.c
```

オブジェクトファイルは、オリジナルのソースコードファイルを反映したファイル名を使用して作成されます。**source.c** は **source.o** になります。

注記

C++ ソースコードの場合は、標準 C++ ライブラリーの依存関係を処理しやすくするために、**gcc** コマンドを **g++** に置き換えます。

関連情報

- 「GCC でコードを強化するオプション」
- 「GCC でのコードの最適化」
- 「例: GCC で C プログラムの構築」

2.3. GCC で C および C++ のアプリケーションのデバッグの有効化

デバッグの情報が大きいと、デフォルトでは実行ファイルが含まれません。GCC を使用した C および C++ のアプリケーションのデバッグを有効にするには、ファイルを作成するように、コンパイラーに明示的に指定する必要があります。

コードのコンパイルおよびリンク時に、GCC でデバッグ情報の作成を有効にするには、**-g** オプションを使用します。

```
$ gcc ... -g ...
```

- コンパイラーとリンカーで最適化を行うと、実行可能なコードを、元のソースコードと関連付

けることが難しくなります。変数の最適化、ループのアンロール、周りの操作へのマージなどが行われる可能性があります。このため、デバッグに影響を及ぼす場合があります。デバッグの体験を向上するには、**-Og** オプションを指定して、最適化を設定することを考慮してください。ただし、最適化レベルを変更すると、実行可能なコードが変更になり、バグを取り除くための動作が変更する可能性があります。

- デバッグ情報にマクロ定義も追加するには、**-g** の代わりに **-g3** オプションを使用します。
- GCC オプション **-fcompare-debug** では、GCC でコンパイルしたコードを、デバッグ情報を使用して (または、デバッグ情報を使用せずに) テストします。このテストでは、出力されたバイナリーファイルの 2 つが同一であれば合格します。このテストを行うことで、実行可能なコードがデバッグオプションによる影響を受けないようにするだけでなく、デバッグコードにバグが含まれないようにします。**-fcompare-debug** オプションを使用するとコンパイルの時間が大幅に伸びます。このオプションに関する詳細は、GCC の man ページを参照してください。

関連情報

- *7章 デバッグ情報を使用したデバッグの有効化*
- GNU コンパイラーコレクション (GCC) の使用 - Options for Debugging Your Program
- GDB を使用したデバッグ - Debugging Information in Separate Files
- GCC の man ページ:

```
$ man gcc
```

2.4. GCC でのコードの最適化

1 つのプログラムは、複数の機械語命令シーケンスに変換できます。コンパイル時にコードを分析するためにより多くのリソースを割り当てると、より最適な結果が得られます。

GCC では、**-Olevel** オプションを使用して最適化レベルを設定できます。このオプションでは、**level** の部分に値を指定できます。

レベル	説明
0	コンピレーション速度の最適化 - コードの最適化なし (デフォルト)
1、2、3	最適化して、コード実行速度を向上させます (数値が大きいほど、速度は高くなります)。
s	ファイルサイズを最適化します。
fast	レベルを **3** にして、**fast** にすると、厳密な標準準拠を無視して追加の最適化を可能にします
g	デバッグ作業の最適化

リリースビルドの最適化オプションは **-O2** です。

開発中は、場合によってはプログラムやライブラリーのデバッグを行えるように、**-Og** オプションが便利です。バグによっては、特定の最適化レベルでのみ出現するため、リリースの最適化レベルでプログラムまたはライブラリーをテストしてください。

GCC では、個別の最適化を有効にするオプションが多数含まれています。詳細情報は、以下の関連資料を参照してください。

関連情報

- GNU コンパイラーコレクションの使用 - 3.10 Options That Control Optimization
- GCC の Linux man ページ:

```
$ man gcc
```

2.5. GCC でコードを強化するオプション

コンパイラーで、ソースコードをオブジェクトコードに変換する場合には、さまざまなチェックを追加して、一般的に悪用される状況などを回避し、セキュリティーを強化できます。適切なコンパイラーオプションセットを選択すると、ソースコードを変更せずに、よりセキュアなプログラムやライブラリーを作成できます。

リリースバージョンのオプション

Red Hat Enterprise Linux を使用する開発者には、以下のオプション一覧が推奨される最小限のオプションとなります。

```
$ gcc ... -O2 -g -Wall -Wl,-z,now,-z,relro -fstack-protector-strong -fstack-clash-protection -
D_FORTIFY_SOURCE=2 ...
```

- プログラムには、**-fPIE** および **-pie** の位置独立実行形式オプションを追加します。
- 動的にリンクされたライブラリーには、必須の **-fPIC** (位置独立コード) オプションを使用すると間接的にセキュリティーが強化されます。

開発オプション

開発時にセキュリティーの欠陥を検出する場合は、以下のオプションを使用します。このオプションは、リリースバージョンのオプションと合わせて使用してください。

```
$ gcc ... -Walloc-zero -Walloca-larger-than -Wextra -Wformat-security -Wvla-larger-than ...
```

関連情報

- Defensive Coding Guide
- Memory Error Detection Using GCC - Red Hat 開発者のブログ投稿

2.6. 実行ファイルを作成するコードのリンク

C または C++ のアプリケーション構築の最後の手順は、リンクです。リンクをすることで、オブジェクトファイルやライブラリーをすべて実行ファイルに統合します。

前提条件

- オブジェクトファイルが 1 つまたは複数ある。
- GCC がシステムにインストールされている。

手順

1. オブジェクトコードファイルを含むディレクトリーに移動します。
2. **gcc** を実行します。

```
$ gcc ... objfile.o another_object.o ... -o executable-file
```

executable-file という名前の実行ファイルが、指定したオブジェクトファイルとライブラリーをベースに作成されます。

追加のライブラリーをリンクするには、オブジェクトファイルの一覧の前に、必要なオプションを追加します。詳細は3章*GCC でのライブラリーの使用*を参照してください。

注記

C++ ソースコードの場合は、標準 C++ ライブラリーの依存関係を処理しやすくするために、**gcc** コマンドを **g++** に置き換えます。

関連情報

- 「例: GCC で C プログラムの構築」
- 「静的リンクおよび動的リンク」

2.7. 例: GCC で C プログラムの構築

以下の例では、簡単な C++ のサンプルプログラムを構築する手順を説明します。

前提条件

- GCC の使用方法を理解している。

手順

1. **hello-c** ディレクトリーを作成して、そのディレクトリーに移動します。

```
$ mkdir hello-c
$ cd hello-c
```

2. 以下の内容を含む **hello.c** ファイルを作成します。

```
#include <stdio.h>

int main() {
  printf("Hello, World!\n");
  return 0;
}
```

3. GCC でコードをコンパイルします。

```
$ gcc -c hello.c
```

オブジェクトファイル **hello.o** が作成されます。

4. オブジェクトファイルから作成した実行ファイル **helloworld** をリンクします。

```
$ gcc hello.o -o helloworld
```

5. 作成された実行ファイルを実行します。

```
$ ./helloworld
Hello, World!
```

関連情報

- 「例: Makefile を使用した C プログラムの構築」

2.8. 例: GCC で C++ プログラムの構築

以下の例では、最小限の C++ プログラムのサンプルを構築する手順を説明します。

前提条件

- **gcc** と **g++** の相違点を理解している。

手順

1. **hello-cpp** ディレクトリーを作成して、そのディレクトリーに移動します。

```
$ mkdir hello-cpp
$ cd hello-cpp
```

2. 以下の内容を含む **hello.cpp** ファイルを作成します。

```
#include <iostream>

int main() {
  std::cout << "Hello, World!\n";
  return 0;
}
```

3. **g++** でコードをコンパイルします。

```
$ g++ -c hello.cpp
```

オブジェクトファイル **hello.o** が作成されます。

4. オブジェクトファイルから作成した実行ファイル **helloworld** をリンクします。

```
$ g++ hello.o -o helloworld
```

5. 作成された実行ファイルを実行します。

```
$ ./helloworld
Hello, World!
```

第3章 GCC でのライブラリーの使用

この章では、コード内でのライブラリーの使用を説明します。

3.1. ライブラリーの命名規則

特別なファイルの命名規則をライブラリーに使用します。**foo** として知られるライブラリーは、**libfoo.so** ファイルまたは **libfoo.a** ファイルとして存在する必要があります。この規則は、リンクする GCC の入力オプションでは自動的に理解されますが、出力オプションでは理解されません。

- ライブラリーにリンクする場合は、**-lfoo** のように、**-l** オプションと **foo** の名前でしか、ライブラリーを指定することができません。

```
$ gcc ... -lfoo ...
```

- ライブラリーの作成時には、**libfoo.so**、**libfoo.a** など、完全なファイル名を指定する必要があります。

関連情報

- 「soname のメカニズム」

3.2. 静的リンクおよび動的リンク

開発者は、完全にコンパイルされた言語でアプリケーションを構築する際に、静的リンクまたは動的リンクを使用できます。本セクションでは、特に Red Hat Enterprise Linux で C 言語および C++ 言語を使用している場合のコンテキストの相違点を説明します。つまり、Red Hat は、Red Hat Enterprise Linux のアプリケーションで静的リンクを使用することは推奨していません。

静的リンクおよび動的リンクの比較

静的リンクは、作成される実行ファイルのライブラリーの一部になります。動的リンクは、このライブラリーを別のファイルとして維持します。

動的リンクおよび静的リンクは、いくつかの点で異なります。

リソースの使用

静的リンクは、より多くのコードを含むため、実行ファイルが大きくなります。ライブラリーからのこの追加コードは、システムのプログラム間で共有できないため、ランタイム時にファイルシステムの使用量とメモリー使用量が増加します。静的にリンクされた同じプログラムを実行している複数のプロセスがコードを共有します。
一方、静的アプリケーションは、必要なランタイムの再配置も少なくなるため、起動時間が短縮します。また、必要なプライベートの RSS (homeal Set Size) メモリーも少なくなります。静的リンク用に生成されたコードは、PIC (位置独立コード) により発生するオーバーヘッドにより、動的リンクよりも効率が良くなります。

セキュリティー

ABI 互換性を提供する、動的にリンクされたライブラリーは、そのライブラリーに依存する実行ファイルを変更せずに更新できます。これは、Red Hat Enterprise Linux の一部として Red Hat が提供するライブラリー (セキュリティー更新が提供される場所) で特に重要です。このようなライブラリーには、静的リンクを使用しないことが強く推奨されます。

互換性

静的リンクは、オペレーティングシステムが提供するライブラリーのバージョンに依存しない実行

ファイルを提供しているように見えます。ただし、ほとんどのライブラリーは、その他のライブラリーに依存しています。静的リンクを使用すると、依存関係に柔軟性がなくなるため、前方互換性と後方互換性が失われます。静的リンクは、実行ファイルが構築されたシステムでのみ機能します。

警告

GNU C ライブラリー (**glibc**) から静的ライブラリーをリンクするアプリケーションでは、引き続き **glibc** が動的ライブラリーとしてシステムに存在する必要があります。さらに、アプリケーションのランタイム時に利用できる **glibc** の動的ライブラリーバリアントは、アプリケーションのリンク時に表示されるものとビット単位で同じバージョンである必要があります。したがって、静的リンクは、実行ファイルが構築されたシステムでのみ機能することが保証されます。

サポート範囲

Red Hat が提供するほとんどの静的ライブラリーは **CodeReady Linux Builder** チャンネルにあり、Red Hat ではサポートされていません。

機能

いくつかのライブラリー (特に GNU C ライブラリー (**glibc**)) は、静的にリンクすると提供する機能が少なくなります。
たとえば、静的にリンクすると、**glibc** は、スレッドと、同じプログラム内の **dlopen()** 関数への呼び出しの形式をサポートしません。

上述のデメリットにより、静的リンクは、特にアプリケーション全体、**glibc** ライブラリー、および **libstdc++** ライブラリーに対しては、使用しないようにしてください。

静的リンクの場合

静的リンクは、次のようないくつかのケースでは合理的な選択が可能です。

- 動的リンクが使用できないライブラリーを使用している
- 空の **chroot** 環境またはコンテナーでコードを実行するには、完全に静的なリンクが必要です。ただし、**glibc-static** パッケージを使用した静的リンクは、Red Hat ではサポートされません。

関連情報

- Red Hat Enterprise Linux 8: アプリケーションの互換性ガイド
- **『パッケージマニフェスト』**の「CodeReady Linux Builder リポジトリー」 の説明

3.3. GCC でのライブラリーの使用

ライブラリーは、プログラムで再利用可能なコードのパッケージです。C または C++ のライブラリーは、以下の 2 つの部分で構成されます。

- ライブラリーコード

- ヘッダーファイル

ライブラリーを使用するコードのコンパイル

ヘッダーファイルでは、ライブラリーで提供する関数や変数など、ライブラリーのインターフェースを記述します。コードをコンパイルする場合に、ヘッダーファイルの情報が必要です。

通常、ライブラリーのヘッダーファイルは、アプリケーションのコードとは別のディレクトリーに配置されます。ヘッダーファイルの場所を GCC に指示するには、**-I** オプションを使用します。

```
$ gcc ... -Iinclude_path ...
```

include_path は、ヘッダーファイルのディレクトリーのパスに置き換えます。

-I オプションは、複数回使用して、ヘッダーファイルを含むディレクトリーを複数追加できます。ヘッダーファイルを検索する場合は、**-I** オプションで表示順に、これらのディレクトリーが検索されます。

ライブラリーを使用するコードのリンク

実行ファイルをリンクする場合には、アプリケーションのオブジェクトコードと、ライブラリーのバイナリーコードの両方が利用できる状態でなければなりません。静的ライブラリーおよび動的ライブラリーのコードは、形式が異なります。

- 静的なライブラリーは、アーカイブファイルとして利用できます。静的なライブラリーには、一連のオブジェクトファイルが含まれます。アーカイブファイルのファイル名の拡張子は **.a** になります。
- 動的なライブラリーは共有オブジェクトとして利用できます。実行ファイルの形式です。共有オブジェクトのファイル名の拡張子は **.so** になります。

ライブラリーのアーカイブファイルまたは共有オブジェクトファイルの場所を GCC に渡すには、**-L** オプションを使用します。

```
$ gcc ... -Llibrary_path -lfoo ...
```

library_path は、ライブラリーのディレクトリーのパスに置き換えます。

-l オプションは、複数回使用して、ディレクトリーを複数追加できます。ライブラリーを検索する場合は、**-L** オプションで表示順に、このディレクトリーが検索されます。

オプションの指定順は重要です。対象のライブラリーがディレクトリーにリンクされていることが分からないと、GCC は、ライブラリー **foo** をリンクできません。そのため、**-L** オプションを使用して先にライブラリーディレクトリーを指定してから、**-l** オプションでライブラリーをリンクするようにしてください。

1 つの手順でライブラリーを使用するコードをコンパイルおよびリンクする方法

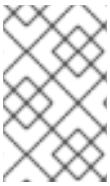
1 つの **gcc** コマンドでコードをコンパイルおよびリンクできる場合は、上記のオプションを一度に使用します。

関連情報

- GNU コンパイラーコレクション (GCC) の使用 - 3.15 Options for Directory Search
- GNU コンパイラーコレクション (GCC) の使用 - 3.14 Options for Linking

3.4. GCC での静的ライブラリーの使用

静的なライブラリーは、オブジェクトファイルを含むアーカイブとして利用できます。リンクを行うと、作成された実行ファイルの一部となります。



注記

Red Hat は、セキュリティー上の理由から、静的リンクを使用することは推奨していません。「静的リンクおよび動的リンク」を参照してください。静的リンクは、特に Red Hat が提供するライブラリーに対して、必要な場合に限り使用してください。

前提条件

- GCC がシステムにインストールされている。
- 静的リンクおよび動的リンクを理解している。
- 有効なプログラムを構成するソースまたはオブジェクトのファイルセット。静的ライブラリー **foo** だけが必要です。
- **foo** ライブラリーは **libfoo.a**ファイルとして利用でき、動的リンクには **libfoo.so** ファイルがありません。

注記

Red Hat Enterprise Linux に含まれるライブラリーの多くは、動的リンク用にのみ対応しています。次の手順は、動的リンクに **無効の** ライブラリーに対してのみ有効です。「静的リンクおよび動的リンク」を参照してください。

手順

ソースとオブジェクトファイルからプログラムをリンクするには、静的にリンクされたライブラリー **foo** (**libfoo.a** として検索可能) を追加します。

1. コードが含まれるディレクトリーに移動します。
2. **foo** ライブラリーのヘッダーで、プログラムソースファイルをコンパイルします。

```
$ gcc ... -Iheader_path -c ...
```

   header_path を、**foo** ライブラリーのヘッダーファイルを含むディレクトリーのパスに置き換えます。

3. プログラムを **foo** ライブラリーにリンクします。

```
$ gcc ... -Llibrary_path -lfoo ...
```

   library_path を、**libfoo.a** ファイルを含むディレクトリーのパスに置き換えます。

4. あとでプログラムを実行するには、次のコマンドを実行します。

```
$ ./program
```

注意

静的リンクに関連する GCC オプション **-static** は、すべての動的リンクを禁止します。代わりに **-Wl,-Bstatic** オプションおよび **-Wl,-Bdynamic** オプションを使用して、リンカーの動作をより正確に制御します。「GCC で静的ライブラリーおよび動的ライブラリーの両方を使用」を参照してください。

3.5. GCC での動的ライブラリーの使用

動的ライブラリーは、スタンドアロンの実行ファイルとして提供します。このファイルは、リンク時およびランタイム時に必要です。このファイルは、アプリケーションの実行ファイルからは独立しています。

前提条件

- GCC がシステムにインストールされている。
- 有効なプログラムを構成するソースまたはオブジェクトファイルセットがある。動的ライブラリー **foo** だけが必要になります。
- **foo** ライブラリーが **libfoo.so** ファイルとして利用できる。

プログラムの動的ライブラリーへのリンク

動的ライブラリー **foo** にプログラムをリンクするには、次のコマンドを実行します。

```
$ gcc ... -L library_path -l foo ...
```

プログラムを動的ライブラリーにリンクすると、作成されるプログラムは常にランタイム時にライブラリーを読み込む必要があります。ライブラリーの場所を特定するオプションは 2 つあります。

- 実行ファイルに保存された **rpath** の値を使用する方法
- ランタイム時に **LD_LIBRARY_PATH** 変数を使用する方法

実行ファイルに保存された rpath の値を使用する方法

rpath は、リンク時に実行ファイルの一部として保存される特別な値です。その後、実行ファイルからプログラムを読み込む時に、ランタイムリンカーが **rpath** の値を使用してライブラリーファイルの場所を特定します。

GCC とリンクし、library_path のパスを **rpath** として保存します。

```
$ gcc ... -L library_path -l foo -Wl,-rpath=library_path ...
```

library_path のパスは、**libfoo.so** ファイルを含むディレクトリーを参照する必要があります。

注意

-Wl,-rpath= オプションのコンマの後にスペースがあるので注意してください。

あとでプログラムを実行するには、次のコマンドを実行します。

```
$ ./program
```

LD_LIBRARY_PATH 環境変数を使用する方法

プログラムの実行ファイルに **rpath** がない場合、ランタイムリンカーは **LD_LIBRARY_PATH** の環境変数を使用します。この変数の値は、プログラムごとに変更する必要があります。この値は、共有ライブラリーのオブジェクトがあるパスを表す必要があります。

rpath セットがなく、ライブラリーが **library_path** パスにある状態で、プログラムを実行します。

```
$ export LD_LIBRARY_PATH=library_path:$LD_LIBRARY_PATH
$ ./program
```

rpath の値を空白にすると柔軟性がありますが、プログラムを実行するたびに **LD_LIBRARY_PATH** 変数を設定する必要があります。

ライブラリーの、デフォルトのディレクトリーへの配置

ランタイムのリンカー設定では、複数のディレクトリーを動的ライブラリーファイルのデフォルトの場所として指定します。このデフォルトの動作を使用するには、ライブラリーを適切なディレクトリーにコピーします。

動的リンカーの動作に関する詳細な説明は、本書の対象外です。詳しい情報は、以下の資料を参照してください。

- 動的リンカーの Linux man ページ:

  ```
  $ man ld.so
  ```

- **/etc/ld.so.conf** 設定ファイルの内容:

  ```
  $ cat /etc/ld.so.conf
  ```

- 追加設定なしに動的リンカーにより認識されるライブラリーのレポート (ディレクトリーを含む):

  ```
  $ ldconfig -v
  ```

3.6. GCC で静的ライブラリーおよび動的ライブラリーの両方を使用

場合によっては、静的ライブラリーと動的ライブラリーの両方をリンクする必要があります。このような場合には、いくつかの課題があります。

前提条件

- 静的リンクおよび動的リンクの理解

はじめに

GCC は、動的ライブラリーと静的ライブラリーの両方を認識します。**-lfoo** オプションがあると、gcc はまず、動的にリンクされた **foo** ライブラリーを含む共有オブジェクト (**.so** ファイル) を検索し、静的ライブラリーを含むアーカイブファイル (**.a**) を検索します。したがって、この検索により、以下の状況が発生する可能性があります。

- 共有オブジェクトのみが見つかり、gcc がそのオブジェクトに動的にリンクする
- アーカイブファイルのみが見つかり、gcc がそのファイルに静的にリンクする

- 共有オブジェクトとアーカイブファイルの両方が見つかり、デフォルトでは gcc が共有オブジェクトに動的にリンクする
- 共有オブジェクトもアーカイブファイルも見つからず、リンクに失敗する

このようなルールがあるため、リンクするために、静的ライブラリーまたは動的ライブラリーを選択する場合は、gcc が検索可能なバージョンのみを指定するようにします。これにより、**-Lpath** オプションで指定する場合に、静的ライブラリーまたは動的ライブラリーを含むディレクトリーを追加するか、追加しないかで、ある程度制御が可能になります。

また、動的リンクがデフォルトの設定であるため、明示的にリンクを指定する必要があるのは、静的と動的の両方を静的にリンクする必要がある場合のみです。考えられる方法は以下の 2 つです。

- **-l** オプションではなく、ファイルパスで静的ライブラリーを指定する
- **-Wl** オプションを使用して、リンカーにオプションを渡す

ファイルで静的ライブラリーを指定する方法

通常、gcc は、**-lfoo** オプションで、foo ライブラリーにリンクするように指示されます。ただし、代わりに、ライブラリーを含む **libfoo.a** ファイルの完全パスは指定できます。

```
$ gcc ... path/to/libfoo.a ...
```

ファイルの拡張子 **.a** から、gcc は、このファイルがプログラムとリンクするためのライブラリーであることを理解します。ただし、ライブラリーファイルの完全パスを指定するのは柔軟な方法ではありません。

-Wl オプションの使用

gcc オプションの **-Wl** は、基盤のリンカーにオプションを渡す特別なオプションです。このオプションの構文は、他の gcc オプションとは異なります。**-Wl** オプションの後には、リンカーオプションのコンマ区切りのリストが続きますが、他の gcc オプションには、スペースで区切られたオプションのリストが必要です。

gcc が使用する ld リンカーには、**-Bstatic** と **-Bdynamic** のオプションがあり、このオプションの後に来るライブラリーが静的または動的にリンクすべきかどうかを指定します。**-Bstatic** とライブラリーをリカーに渡した後、以降のライブラリーを **-Bdynamic** オプションで動的にリンクするには、デフォルトの動的リンクの動作を手動で復元する必要があります。

プログラムをリンクするには、first ライブラリーを静的にリンク (**libfirst.a**) して、second ライブラリーを動的にリンク (**libsecond.so**) します。

```
$ gcc ... -Wl,-Bstatic -lfirst -Wl,-Bdynamic -lsecond ...
```

注記

gcc は、デフォルトの ld 以外のリンカーを使用するように設定できます。

関連情報

- GNU コンパイラーコレクション (GCC) の使用 - 3.14 Options for Linking
- binutils 2.27 のドキュメント - 2.1 Command Line Options

第4章 GCC でのライブラリーの作成

本章では、ライブラリーの作成手順と、Linux オペレーティングシステムで使用するために必要なライブラリーの概念を説明します。

4.1. ライブラリーの命名規則

特別なファイルの命名規則をライブラリーに使用します。**foo** として知られるライブラリーは、**libfoo.so** ファイルまたは **libfoo.a** ファイルとして存在する必要があります。この規則は、リンクする GCC の入力オプションでは自動的に理解されますが、出力オプションでは理解されません。

- ライブラリーにリンクする場合は、**-lfoo** のように、**-l** オプションと **foo** の名前でしか、ライブラリーを指定することができません。

```
$ gcc ... -lfoo ...
```

- ライブラリーの作成時には、**libfoo.so**、**libfoo.a** など、完全なファイル名を指定する必要があります。

関連情報

- 「soname のメカニズム」

4.2. SONAME のメカニズム

動的に読み込んだライブラリー (共有オブジェクト) は、**soname** と呼ばれるメカニズムを使用して、複数の互換性のあるライブラリーを管理します。

前提条件

- 動的リンクとライブラリーを理解している。
- ABI 互換性の概念を理解している。
- ライブラリーの命名規則を理解している。
- シンボリックリンクを理解している。

問題の概要

動的に読み込んだライブラリー (共有オブジェクト) は、独立した実行ファイルとして存在します。そのため、依存するアプリケーションを更新せずに、ライブラリーを更新できます。ただし、この概念では、以下の問題が発生します。

- 実際のライブラリーバージョンを特定
- 同じライブラリーに対して複数のバージョンが必要
- 複数のバージョンでそれぞれ ABI の互換性を示す

soname のメカニズム

この問題を解決するには、Linux では soname と呼ばれるメカニズムを使用します。

foo ライブラリーの **X.Y** バージョンは、バージョン番号 (**X**) が同じ値でマイナーバージョンが異なるバージョンと、ABI の互換性があります。互換性を確保してマイナーな変更を加えると、**Y** の数字が増えます。互換性がなくなるような、メジャーな変更を加えると、**X** の数字が増えます。

foo ライブラリーバージョン **X.Y** は、**libfoo.so.x.y** ファイルとして存在します。ライブラリーファイルの中に、soname が **libfoo.so.x** の値として記録され、互換性を指定します。

アプリケーションを構築すると、リンカーが **libfoo.so** ファイルを検索して、ライブラリーを特定します。この名前のシンボリックリンクが存在し、実際のライブラリーファイルを参照する必要があります。次にリンカーは、ライブラリーファイルから soname を読み込み、アプリケーションの実行ファイルに記録します。最後に、リンカーにより、名前でもファイル名でもなく、soname を使用してライブラリーで依存関係を宣言するアプリケーションが作成されます。

ランタイムの動的リンカーが実行前にアプリケーションをリンクすると、soname がアプリケーションの実行ファイルから読み込まれます。この soname は **libfoo.so.x** と呼ばれます。この名前のシンボリックリンクが存在し、実際のライブラリーファイルを参照する必要があります。soname が変更しないため、これにより、バージョンの **Y** コンポーネントに関係なく、ライブラリーを読み込むことができます。

注記

バージョン番号の **Y** の部分は、1 つの数字である必要はありません。また、ライブラリーによっては、名前にバージョンが組み込まれているものもあります。

ファイルからの soname の読み込み

somelibrary ライブラリーファイルの soname を表示します。

```
$ objdump -p somelibrary | grep SONAME
```

somelibrary は、検証するライブラリーのファイル名に置き換えます。

4.3. GCC での動的ライブラリーの作成

動的にリンクされたライブラリー (共有オブジェクト) は、以下を可能にします。

- コード再利用によるリソース予約
- ライブラリーコードの更新を容易にすることで、セキュリティーが強化されます。

以下の手順に従って、ソースから動的ライブラリーを構築してインストールします。

前提条件

- soname メカニズムを理解している。
- GCC がシステムにインストールされている。
- ライブラリーのソースコードがある。

手順

1. ライブラリーソースのディレクトリーに移動します。

2. 位置独立コードオプション **-fPIC** でオブジェクトファイルに各ソースファイルをコンパイルします。

```
$ gcc ... -c -fPIC some_file.c ...
```

オブジェクトファイルは、オリジナルのソースコードファイルと同じファイル名ですが、拡張子が **.o** となります。

3. オブジェクトファイルから共有ライブラリーをリンクします。

```
$ gcc -shared -o libfoo.so.x.y -Wl,-soname,libfoo.so.x some_file.o ...
```

使用するメジャーバージョン番号は X で、マイナーバージョン番号は Y です。

4. **libfoo.so.x.y** ファイルを、システムの動的リンカーが検索できる適切な場所にコピーします。Red Hat Enterprise Linux では、ライブラリーのディレクトリーは **/usr/lib64** となります。

```
# cp libfoo.so.x.y /usr/lib64
```

このディレクトリーにあるファイルを操作するには、root パーミッションが必要な点に注意してください。

5. soname メカニズムのシンボリックリンク構造を作成します。

```
# ln -s libfoo.so.x.y libfoo.so.x
# ln -s libfoo.so.x libfoo.so
```

関連情報

- Linux ドキュメントプロジェクト - Program Library HOWTO - 3.共有ライブラリ

4.4. GCC および AR での静的ライブラリーの作成

オブジェクトファイルを特別なアーカイブファイルに変換して、静的にリンクするライブラリーを作成できます。

注記

Red Hat は、セキュリティー上の理由から、静的リンクの使用は推奨していません。静的リンクは、特に Red Hat が提供するライブラリーに対して、必要な場合にのみ使用してください。詳細は「静的リンクおよび動的リンク」を参照してください。

前提条件

- GCC と binutils がシステムにインストールされている。
- 静的リンクおよび動的リンクを理解している。
- ライブラリーとして共有している関数を含むソースファイルが利用できる。

手順

1. GCC で仲介となるオブジェクトファイルを作成します。

```
$ gcc -c source_file.c ...
```

必要に応じて、さらにソースファイルを追加します。作成されるオブジェクトファイルはファイル名を共有しますが、拡張子は **.o** を使用します。

2. **binutils** パッケージの **ar** ツールを使用して、オブジェクトファイルを静的ライブラリー (アーカイブ) に変換します。

```
$ ar rcs libfoo.a source_file.o ...
```

libfoo.a ファイルが作成されます。

3. **nm** コマンドを使用して、作成されたアーカイブを検証します。

```
$ nm libfoo.a
```

4. 静的ライブラリーファイルを適切なディレクトリーにコピーします。

5. ライブラリーにリンクする場合、GCC は自動的に **.a** のファイル名の拡張子 (ライブラリーが静的リンクのアーカイブであること) を認識します。

```
$ gcc ... -lfoo ...
```

関連情報

- Linux の man ページ **ar(1)**:

```
$ man ar
```

第5章 MAKE でのさらなるコードの管理

GNU の make ユーティリティー (通称 **make**) は、ソースファイルから実行ファイルの生成を制御するツールです。**make** は自動的に、複雑なプログラムのどの部分が変更され、再度コンパイルする必要があるのかを判断します。**make** は Makefile と呼ばれる設定ファイルを使用して、プログラムを構築する方法を制御します。

5.1. GNU MAKE および MAKEFILE の概要

特定のプロジェクトのソースファイルから使用可能な形式 (通常は実行ファイル) を作成するには、必要な手順を完了します。後で反復できるように、アクションとそのシーケンスを記録します。

Red Hat Enterprise Linux には、この目的用に設計されたビルドシステムである、GNU **make** が含まれています。

前提条件

- コンパイルとリンクの概念を理解している。

GNU make

GNU **make** はビルドプロセスの命令が含まれる Makefile を読み込みます。Makefile には、特定のアクション (**レシピ**) で特定の条件 (**ターゲット**) を満たす方法を記述する複数の **ルール** が含まれています。ルールは、別のルールに階層的に依存できます。

オプションを指定せずに **make** を実行すると、現在のディレクトリーで Makefile を検索し、デフォルトのターゲットに到達しようと試みます。実際の Makefile ファイル名は **Makefile**、**makefile**、および **GNUmakefile** です。デフォルトのターゲットは、Makefile の内容で決まります。

Makefile の詳細

Makefile は比較的単純な構文を使用して **変数** と **ルール** を定義します。Makefile は **ターゲット** と **レシピ** で構成されます。ターゲットでは、ルールが実行された場合にどのような出力が表示されるのかを指定します。レシピの行は、TAB 文字で開始する必要があります。

通常、Makefile は、ソースファイルをコンパイルするルール、作成されるオブジェクトファイルをリンクするルール、および階層上部のエントリーポイントとしての役割を果たすターゲットで構成されます。

1 つのファイル (**hello.c**) で構成される C プログラムを構築する場合は、以下の **Makefile** を参照してください。

```
all: hello

hello: hello.o
	gcc hello.o -o hello

hello.o: hello.c
	gcc -c hello.c -o hello.o
```

この例では、ターゲット **all** に到達するには、ファイル **hello** が必要です。**hello** を取得するには、**hello.o** (**gcc** でリンク) が必要で、**hello.c** (**gcc** でコンパイル) を基に作成します。

ターゲットの **all** は、ピリオド (.) で開始されない最初のターゲットであるため、デフォルトのターゲットとなっています。この **Makefile** が現在のディレクトリーに含まれている場合に、引数なしで **make** を実行するのは、**make all** を実行するのと同じです。

一般的な Makefile

より一般的な Makefile は、この手順を正規化する変数を使用し、ターゲット「clean」を追加して、ソースファイル以外をすべて削除します。

```
CC=gcc
CFLAGS=-c -Wall
SOURCE=hello.c
OBJ=$(SOURCE:.c=.o)
EXE=hello

all: $(SOURCE) $(EXE)

$(EXE): $(OBJ)
	$(CC) $(OBJ) -o $@

%.o: %.c
	$(CC) $(CFLAGS) $< -o $@

clean:
	rm -rf $(OBJ) $(EXE)
```

このような Makefile にソースファイルを追加する場合は、SOURCE 変数が定義されている行に追加します。

関連情報

- GNU make: 概要 - 2 An Introduction to Makefiles
- *2章GCC でのビルドコード*

5.2. 例: MAKEFILE を使用した C プログラムの構築

この例の手順に従い、Makefile を使用して C のサンプルプログラムを構築します。

前提条件

- Makefile と **make** の概念を理解している。

手順

1. **hellomake** ディレクトリーを作成して、そのディレクトリーに移動します。

```
$ mkdir hellomake
$ cd hellomake
```

2. 以下の内容で **hello.c** ファイルを作成します。

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
  printf("Hello, World!\n");
  return 0;
}
```

3. 以下の内容で **Makefile** ファイルを作成します。

```
CC=gcc
CFLAGS=-c -Wall
SOURCE=hello.c
OBJ=$(SOURCE:.c=.o)
EXE=hello

all: $(SOURCE) $(EXE)

$(EXE): $(OBJ)
	$(CC) $(OBJ) -o $@

%.o: %.c
	$(CC) $(CFLAGS) $< -o $@

clean:
	rm -rf $(OBJ) $(EXE)
```

注意

Makefile レシピの行は、Tab 文字で開始する必要があります。上記のテキストをドキュメントからコピーする際に、カットアンドペーストのプロセスでは、タブではなくスペースが貼り付けられる場合があります。この場合は、手動で修正してください。

4. **make** を実行します。

```
$ make
gcc -c -Wall hello.c -o hello.o
gcc hello.o -o hello
```

このコマンドで、実行ファイルが **hello** 作成されます。

5. この実行ファイル **hello** を実行します。

```
$ ./hello
Hello, World!
```

6. Makefile のターゲット **clean** を実行して、作成されたファイルを削除します。

```
$ make clean
rm -rf hello.o hello
```

関連情報

- 「例: GCC で C プログラムの構築」
- 「例: GCC で C++ プログラムの構築」

5.3. MAKE のドキュメント

make の詳細は、以下に記載のドキュメントを参照してください。

インストールされているドキュメント

- **man** ツールおよび **info** ツールで、お使いのシステムにインストールされている man ページと情報ページを表示します。

```
$ man make
$ info make
```

オンラインドキュメント

- Free Software Foundation が提供する 『GNU Make Manual』
- 『Red Hat Developer Toolset User Guide』の第 3 章「GNU make」

第6章 RHEL 7 以降の TOOLCHAIN の変更点

以下のシナリオでは、Red Hat Enterprise Linux 7 で説明されているコンポーネントのリリース以降のツールチェインにおける変更を記載します。『Red Hat Enterprise Linux 8.0 リリースノート』 も併せて参照してください。

6.1. RHEL 8 の GCC における変更点

Red Hat Enterprise Linux 8 では、GCC ツールチェーンは GCC 8.2 リリースシリーズに基づいています。以下は、Red Hat Enterprise Linux 7 からの主な変更点です。

- エイリアス解析、ベクトル化機能の改善、同一コードの折りたたみ、プロシージャー間解析、ストアマージの最適化パスなど、一般的な最適化が多数追加されました。
- Address Sanitizer が改善されました。
- メモリリークを検出するために、Leak Sanitizer が追加されました。
- 未定義の挙動を検出するために、Undefined Behavior Sanitizer が追加されました。
- デバッグ情報が DWARF5 形式で生成できるようになりました。この機能は実験的なものです。
- ソースコードカバレッジ解析ツールの GCOV が、様々な改良とともに拡張されました。
- OpenMP 4.5 仕様のサポートが追加されました。また、OpenMP 4.0 仕様のオフロード機能は、C、C++、および Fortran のコンパイラーで対応されます。
- 特定の、起こりうるプログラムエラーを静的に検出するために、新しい警告と改善された診断が追加されました。
- ソースの場所は、その場所よりも広い範囲を追跡するため、診断する内容が濃くなりました。コンパイラーは、「fix-it」ヒントを提供し、可能なコードの修正を提案します。代替名とタイポの検出を簡単にするために、スペルチェックが追加されました。

セキュリティー

GCC が、生成したコードをさらに強化するツールを提供するように拡張されました。

詳細は「RHEL 8 の GCC へのセキュリティー強化」 を参照してください。

アーキテクチャーおよびプロセッサーのサポート

アーキテクチャーおよびプロセッサーサポートの改善点は次のとおりです。

- Intel AVX-512 アーキテクチャー、その多数のマイクロアーキテクチャー、および Intel Software Guard Extensions (SGX) にアーキテクチャー固有の新しいオプションが複数追加されました。
- コード生成は、現在、64 ビットの ARM アーキテクチャー LSE 拡張、ARMv8.2-A 16 ビット浮動小数点拡張 (FPE)、およびアーキテクチャーのバージョン ARMv8.2-A、ARMv8.3-A、および ARMv8.4-A を対象にできるようになりました。
- ARM および 64 ビット ARM アーキテクチャーで **-march=native** オプションの処理が修正されました。
- IBM Z アーキテクチャーのプロセッサー z13 および z14 に対応するようになりました。

言語および標準

以下は、言語と標準規格に関連した主な変更点です。

- C 言語でコンパイルする際に使用されるデフォルトの標準規格が、GNU 拡張機能が含まれる C17 に変更になりました。
- C++ 言語でコードをコンパイルする際に使用されるデフォルトの標準規格が、GNU 拡張機能が含まれる C++14 に変更になりました。
- C++ ランタイムライブラリーが、C++11 および C++14 の標準規格に対応するようになりました。
- C++ コンパイラーは、新しい機能を多数持つ C++14 標準仕様を実装するようになりました。たとえば、変数テンプレート、非静的データメンバーイニシャライザーを持つ統合、拡張した **constexpr** 指定子、標準サイズの割り当て解除関数、汎用ラムダ、可変長の配列、桁区切り記号などになります。
- C 言語の標準 C11 のサポートが改善しました。ISO C11 アトミック、一般的な選択、およびスレッドローカルストレージが利用可能になりました。
- 新しい **__auto_type** の GNU C 拡張機能が、C 言語の C++11 の **auto** キーワード機能のサブセットを提供します。
- ISO/IEC TS 18661-3:2015 標準規格が指定する型名 **_FloatN** および **_FloatNx** が、C フロントエンドで認識されるようになりました。
- C 言語でコンパイルする際に使用されるデフォルトの標準規格が、GNU 拡張機能が含まれる C17 に変更になりました。これは、**--std=gnu17** オプションを使用するのと同じ効果があります。以前は、デフォルトは、GNU 拡張を持つ C89 です。
- GCC は、C++17 言語標準規格と、C++20 標準規格の一部の機能を使用してコンパイルできるようになりました。
- 空のクラスを引数として渡すと、プラットフォーム ABI で要求される、Intel 64 アーキテクチャーおよび AMD64 アーキテクチャーで領域を使用しません。削除したコピーまたは移動のコンストラクターだけを持つクラスを渡すか返すと、重要なコピーまたは移動のコンストラクターを持つクラスと同じ規則を使用します。
- C++11 の **alignof** 演算子により返される値は、C の **_Alignof** 演算子と一致し、最小の配置を返すように修正されました。適切な配置を見つけるには、GNU 拡張機能 **__alignof__** を使用します。
- Fortran 言語コード用の **libgfortran** ライブラリーのメインバージョンが 5 に変更になりました。
- Ada (GNAT)、GCC Go、および Objective C/C++ 言語に対応しなくなりました。Go コード開発には Go Toolset を使用してください。

関連情報

- 『Red Hat Enterprise Linux 8 リリースノート』も併せて参照してください。
- Using Go Toolset

6.2. RHEL 8 の GCC へのセキュリティー強化

本セクションは、Red Hat Enterprise Linux 7.0 のリリース以降に追加されたセキュリティーに関連する GCC の変更の詳細を説明します。

新しい警告

以下のような警告オプションが追加されました。

オプション	警告が表示された理由
-Wstringop-truncation	コピーした文字列を切り捨てるか、目的が変更しない **strncat**、**strncpy**、**stpncpy** などのバインドした文字列操作を読み出します。
-Wclass-memaccess	**memcpy** や **realloc** のような、生のメモリー機能により、潜在的に危険な方法で操作される重要なクラスタイプのオブジェクトです。 警告は、ユーザー定義のコンストラクターやコピー代入演算子、破損した仮想テーブルポインター、const 修飾型または参照、またはメンバーポインターのデータメンバーを回避する呼び出しを検出します。この警告は、データメンバーへのアクセス制御を回避する呼び出しも検出します。
-Wmisleading-indentation	コードのインデントにより、コードのブロック構造について誤解を与える場所。
-Walloc-size-larger-than=size	割り当てるメモリーの量が size を超えた場合にメモリー割り当て関数を呼び出します。2 つのパラメーターを乗じることで割り当てが指定される関数や、**alloc_size** 属性が付けられた関数とも連携します。
-Walloc-zero	メモリー量を割り当てないようにするメモリー割り当て関数を呼び出します。2 つのパラメーターを乗じることで割り当てが指定される関数や、**alloc_size** 属性が付けられた関数とも連携します。
-Walloca	**alloca** 関数へのすべての読み出し。
-Walloca-larger-than=size	size 以上のメモリーが必要になると、**alloca** 関数が呼び出されます。
-Wvla-larger-than=size	指定のサイズを超えたか、そのバインドが十分に拘束されるか不明な可変長配列 (VLA) の定義。
-Wformat-overflow=level	形式化された出力関数の **sprintf** ファミリーへの呼び出しで、特定の好ましいバッファーオーバーフロー。**level** 値の詳細と説明は、man ページの **gcc(1)** を参照してください。
-Wformat-truncation=level	形式化された出力関数の **snprintf** ファミリーへの呼び出しで、特定の好ましい出力の切り替え。**level** 値の詳細と説明は、man ページの **gcc(1)** を参照してください。
-Wstringop-overflow=type	**memcpy** や **strcpy** などの文字列処理関数への呼び出しのバッファーオーバーフロー。**level** 値の詳細と説明は、man ページの **gcc(1)** を参照してください。

警告の改良

次の GCC の警告が修正されました。

- **-Warray-bounds** オプションが改善され、範囲外の配列インデックスおよびポインターオフセットの複数インスタンスを検出するようになりました。たとえば、フレキシブル配列メンバーと文字列リテラルに、負または過剰なインデックスが検出されます。
- GCC 7 で導入された **-Wrestrict** オプションは、標準メモリーと、**memcpy**、**strcpy** などの文字列操作関数への制限引数を介してオブジェクトへのアクセスをオーバーラップする、より多くのインスタンスを検出するように強化されました。
- **-Wnonnull** オプションは、null 以外の引数 (**nonnull** 属性が付いている) を期待する関数に null ポインターを渡す広範囲なケースセットを検出するように強化されました。

新しい UndefinedBehaviorSanitizer

UndefinedBehaviorSanitizer と呼ばれる未定義の動作を検出する新しいランタイムサニタイザーが追加されました。主な機能は以下のようになります。

オプション	チェック
-fsanitize=float-divide-by-zero	ゼロによる浮動小数点除算を検出します。
-fsanitize=float-cast-overflow	浮動小数点型から整数の変換がオーバーフローしていないことを確認します。
-fsanitize=bounds	配列境界の計測を有効にして、範囲外のアクセスを検出します。
-fsanitize=alignment	アラインメントチェックを有効にし、アラインが適切でない様々なオブジェクトを検出します。
-fsanitize=object-size	オブジェクトサイズのチェックを有効にして、様々な範囲外のアクセスを検出します。
-fsanitize=vptr	C++ メンバー関数呼び出し、メンバーアクセス、および基本クラスおよび派生クラスへのポインター間の会話のチェックを有効にします。また、参照されるオブジェクトに正しい動的タイプがない場合は検出します。
-fsanitize=bounds-strict	配列境界の厳密なチェックを有効にします。これにより、**-fsanitize=bounds** と、柔軟なメンバー状の配列の計測を有効にします。
-fsanitize=signed-integer-overflow	汎用ベクトルを持つ算術演算でも、算術オーバーフローが診断されます。
-fsanitize=builtin	事前定義されたビルトインの **__builtin_clz** または **__builtin_ctz** への無効な引数をランタイム時に診断します。**-fsanitize=undefined** からのチェックが含まれます。

オプション	チェック
-fsanitize=pointer-overflow	ポインターのラッピングに簡易ランタイムテストを実行します。**-fsanitize=undefined** からのチェックが含まれます。

AddressSanitizer の新規オプション

以下のオプションが AddressSanitizer に追加されました。

オプション	チェック
-fsanitize=pointer-compare	異なるメモリーオブジェクトを指定するポインターの比較を警告します。
-fsanitize=pointer-subtract	異なるメモリーオブジェクトを指すポインターの減算を警告します。
-fsanitize-address-use-after-scope	その変数が定義されている範囲後に取得され使用されているアドレスの変数をサニタイズします。

その他のサニタイザーおよび計測

- プローブを挿入するために、**-fstack-clash-protection** オプションが追加されました。このプローブは、スタック領域が静的または動的に割り当てられた場合に、スタックオーバーフローが確実に検出され、オペレーティングシステムが提供するスタックガードページを超えることに依存する攻撃ベクトルを軽減する際に挿入されます。

- 制御フロー転送のターゲットアドレス命令 (間接的な関数呼び出し、関数の戻り値、間接ジャンプなど) のターゲットアドレスが有効であることを確認することで、コード計測を実行して、プログラムセキュリティーを高める新しいオプション **-fcf-protection=[full|branch|return|none]** が追加されました。

関連情報

- 上述のオプションの一部に提供された値の詳細および説明は、man ページの **gcc(1)** を参照してください。

```
$ man gcc
```

6.3. RHEL 8 の GCC で互換性に影響を与える変更

std::string および std::list における C++ ABI の変更
RHEL 7 (GCC 4.8) と RHEL 8 (GCC 8) との間で変更した **libstdc++** ライブラリーの **std::string** クラスおよび **std::list** クラスの Application Binary Interface (ABI) は、C++11 標準に従います。 **libstdc++** ライブラリーは、古い ABI および新しい ABI の両方に対応しますが、その他の C++ システムライブラリーには対応しません。そのため、このライブラリーに動的にリンクするアプリケーションを再構築する必要があります。これは、C++98 を含むすべての C++ 標準モードに影響します。RHEL 7 で Red Hat Developer Toolset コンパイラーを使用して構築したアプリケーションにも影響します。このコンパイラーは、古い ABI を維持して、システムライブラリーとの互換性を維持します。

GCC が、Ada、Go、および Objective C/C++ コードを構築しなくなる

GCC コンパイラーから、Ada (GNAT)、GCC Go、および Objective C/C++ の言語でコードを構築する機能が削除されました。

Go コードを構築する場合は、代わりに Go Toolset を使用します。

パート II. デバッグアプリケーション

デバッグアプリケーションのトピックは非常に広範囲です。ここでは、開発者向けに複数の状況でデバッグを行うための最も一般的な手法を説明します。

第7章 デバッグ情報を使用したデバッグの有効化

アプリケーションおよびライブラリーをデバッグするには、デバッグ情報が必要です。次のセクションでは、この情報を取得する方法を説明します。

7.1. デバッグの情報

実行なコードをデバッグしている場合は、2 種類の情報により、ツール、さらにはプログラマーがバイナリーコードを理解できます。

- ソースコードテキスト
- ソースコードテキストがバイナリーコードにどのように関連しているのかの説明

このような情報はデバッグ情報と呼ばれます。

Red Hat Enterprise Linux は、実行可能なバイナリー、共有ライブラリー、または **debuginfo** ファイルに ELF 形式を使用します。これらの ELF ファイル内では、DWARF 形式を使用してデバッグ情報が維持されます。

ELF ファイルに保存されている DWARF 情報を表示するには、**readelf -w file** コマンドを実行します。

注意

STABS は、UNIX でしばしば使用される、以前の、機能の少ない形式です。Red Hat は、この使用を推奨していません。GCC と GDB は、最適な作業でのみ、STABS の実稼働および使用を提供します。Valgrind や **elfutils** などの他のツールの一部は STABS では動作しません。

関連情報

- DWARF デバッグ仕様

7.2. GCC で C および C++ のアプリケーションのデバッグの有効化

デバッグの情報が大きいと、デフォルトでは実行ファイルが含まれません。GCC を使用した C および C++ のアプリケーションのデバッグを有効にするには、ファイルを作成するように、コンパイラーに明示的に指定する必要があります。

コードのコンパイルおよびリンク時に、**GCC** でデバッグ情報の作成を有効にするには、**-g** オプションを使用します。

```
$ gcc ... -g ...
```

- コンパイラーとリンカーで最適化を行うと、実行可能なコードを、元のソースコードと関連付けることが難しくなります。変数の最適化、ループのアンロール、周りの操作へのマージなどが行われる可能性があります。このため、デバッグに影響を及ぼす場合があります。デバッグの体験を向上するには、**-Og** オプションを指定して、最適化を設定することを考慮してください。ただし、最適化レベルを変更すると、実行可能なコードが変更になり、バグを取り除くための動作が変更する可能性があります。
- デバッグ情報にマクロ定義も追加するには、**-g** の代わりに **-g3** オプションを使用します。
- GCC オプション **-fcompare-debug** では、GCC でコンパイルしたコードを、デバッグ情報を使用して (または、デバッグ情報を使用せずに) テストします。このテストでは、出力されたバ

イナリーファイルの 2 つが同一であれば合格します。このテストを行うことで、実行可能なコードがデバッグオプションによる影響を受けないようにするだけでなく、デバッグコードにバグが含まれないようにします。**-fcompare-debug** オプションを使用するとコンパイルの時間が大幅に伸びます。このオプションに関する詳細は、GCC の man ページを参照してください。

関連情報

- *7章 デバッグ情報を使用したデバッグの有効化*
- GNU コンパイラーコレクション (GCC) の使用 - Options for Debugging Your Program
- GDB を使用したデバッグ - Debugging Information in Separate Files
- GCC の man ページ:

```
$ man gcc
```

7.3. DEBUGINFO パッケージおよび DEBUGSOURCE パッケージ

debuginfo パッケージおよび **debugsource** パッケージには、プログラムおよびライブラリーのデバッグ情報と、デバッグソースコードが含まれます。Red Hat Enterprise Linux リポジトリーのパッケージにインストールされているアプリケーションやライブラリーの場合は、追加のチャンネルから個別の **debuginfo** パッケージおよび **debugsource** パッケージを取得できます。

デバッグの情報パッケージタイプ

デバッグに使用できるパッケージには、以下の 2 つのタイプがあります。

debuginfo パッケージ

debuginfo パッケージは、バイナリーコード機能用に人間が判読可能な名前を提供するために必要なデバッグ情報を提供します。このパッケージには、DWARF デバッグ情報が含まれる **.debug** ファイルが含まれています。このファイルは、**/usr/lib/debug** ディレクトリーにインストールされます。

debugsource パッケージ

debugsource パッケージには、バイナリーコードのコンパイルに使用されるソースファイルが含まれています。適切な **debuginfo** パッケージおよび **debugsource** パッケージの両方がインストールされている状態で、GDB、LLDB などのデバッガーは、バイナリーコードの実行をソースコードに関連付けることができます。ソースコードファイルは、**/usr/src/debug** ディレクトリーにインストールされています。

RHEL 7 との相違点

Red Hat Enterprise Linux 7 では、**debuginfo** パッケージに両方の情報が含まれていました。Red Hat Enterprise Linux 8 は、**debuginfo** パッケージのデバッグに必要なソースコードデータを、複数の **debugsource** パッケージに分割します。

パッケージ名

debuginfo パッケージまたは **debugsource** パッケージは、同じ名前、バージョン、リリース、およびアーキテクチャーであるバイナリーパッケージでのみ有効なデバッグ情報を提供します。

- バイナリーパッケージ - **packagename-version-release.architecture.rpm**
- debuginfo パッケージ - **packagename-debuginfo-version-release.architecture.rpm**
- debugsource パッケージ - **packagename-debugsource-version-release.architecture.rpm**

関連情報

- 「デバッグの情報」
- 「デバッグおよびソースのリポジトリーの有効化」

7.4. GDB を使用したアプリケーションまたはライブラリーの DEBUGINFO パッケージの取得

デバッグ情報は、コードをデバッグするために必要です。パッケージからインストールされるコードの場合、GNU デバッガー (GDB) は足りないデバッグ情報を自動的に認識し、パッケージ名を解決し、パッケージの取得方法に関する具体的なアドバイスを提供します。

前提条件

- デバッグするアプリケーションまたはライブラリーがシステムにインストールされている。
- GDB と **debuginfo-install** ツールがシステムにインストールされている。
- **debuginfo** パッケージおよび **debugsource** パッケージを提供するチャンネルをシステムに設定し、有効にしている。

手順

1. デバッグするアプリケーションまたはライブラリーに割われた GDB を起動します。GDB は、足りないデバッグ情報を自動的に認識し、実行するコマンドを提案します。

```
$ gdb -q /bin/ls
Reading symbols from /bin/ls...Reading symbols from .gnu_debugdata for /usr/bin/ls...(no debugging symbols found)...done.
(no debugging symbols found)...done.
Missing separate debuginfos, use: dnf debuginfo-install coreutils-8.30-6.el8.x86_64
(gdb)
```

2. GDB を終了します。**q** と入力して、**Enter** で確認します。

```
(gdb) q
```

3. GDB が提案するコマンドを実行して、必要な **debuginfo** パッケージをインストールします。

```
# dnf debuginfo-install coreutils-8.30-6.el8.x86_64
```

dnf パッケージ管理ツールは、変更の概要を提供し、確認を求め、確認後に必要なファイルをすべてダウンロードしてインストールします。

4. GDB が **debuginfo** パッケージを提案できない場合は、「手動でのアプリケーションまたはライブラリーの debuginfo パッケージの取得」で説明されている手順に従ってください。

関連情報

- 『Red Hat Developer Toolset User Guide』の「Installing Debugging Information」
- Red Hat ナレッジベースソリューション「RHEL システムで debuginfo パッケージをダウンロードまたはインストールする」

7.5. 手動でのアプリケーションまたはライブラリーの DEBUGINFO パッケージの取得

実行ファイルの場所を特定し、インストールするパッケージを見つけることで、インストールする **debuginfo** パッケージを手動で判断できます。

注記

Red Hat は、GDB を使用して、インストールするパッケージを判断すること を推奨します。この手動の手順は、GDB がインストールするパッケージを提案できない場合に限り使用してください。

前提条件

- アプリケーションまたはライブラリーをシステムにインストールしている。
- アプリケーションまたはライブラリーが、パッケージからインストールされている。
- **debuginfo-install** ツールは、システムで利用できるようにする必要がある。
- **debuginfo** パッケージを提供するチャネルをシステム上で設定し、有効にする。

手順

1. アプリケーションまたはライブラリーの実行可能ファイルを検索します。
   a. **which** コマンドを使用して、アプリケーションファイルを検索します。

```
$ which less
/usr/bin/less
```

   b. **locate** コマンドを使用して、ライブラリーファイルを検索します。

```
$ locate libz | grep so
/usr/lib64/libz.so.1
/usr/lib64/libz.so.1.2.11
```

   デバッグの元の理由にエラーメッセージが含まれる場合は、ライブラリーのファイル名にエラーメッセージに記載されている番号と同じ追加番号が含まれるものを選択します。疑わしい場合は、ライブラリーファイルの名前に追加の番号が含まれていないものを使用して、残りの手順を試してください。

注記

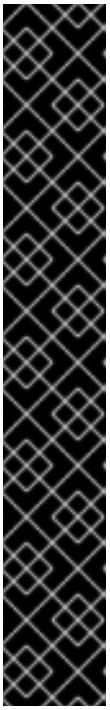
locate コマンドは、**mlocate** パッケージで提供されます。このパッケージをインストールして、その使用を有効にするには、次のコマンドを実行します。

```
# yum install mlocate
# updatedb
```

2. ファイルを提供するパッケージの名前およびバージョンを検索します。

```
$ rpm -qf /usr/lib64/libz.so.1.2.7
zlib-1.2.11-10.el8.x86_64
```

この出力では、インストールされているパッケージの詳細が、**name:epoch-version.release.architecture** 形式で提供されます。



重要

この手順では結果が生成されないので、どのパッケージがこのバイナリーファイルを提供しているかは判断できません。次のような状況が考えられます。

- このファイルは、**現在** の設定でパッケージ管理ツールに認識されないパッケージからインストールされます。
- このファイルは、ローカルにダウンロードして手動でインストールしたパッケージからインストールされます。この場合、適切な **debuginfo** パッケージを自動的に判断することはできません。
- パッケージ管理ツールの設定が正しく構成されていません。
- このファイルは、どのパッケージからもインストールされません。そのような場合は、それぞれの **debuginfo** パッケージも存在しません。

これ以降の手順はこの手順によって異なるため、この状況を解決するか、この手順を中止する必要があります。正確なトラブルシューティング手順の説明は、この手順の範囲外です。

3. **debuginfo-install** ユーティリティーを使用して **debuginfo** パッケージをインストールします。そのコマンドで、前の手順で確認したパッケージ名およびその他の詳細情報を使用します。

```
# debuginfo-install zlib-1.2.11-10.el8.x86_64
```

関連情報

- 『Red Hat Developer Toolset User Guide』の「Installing Debugging Information」
- ナレッジベースアーティクル「RHEL システムで debuginfo パッケージをダウンロードまたはインストールする」

第8章 GDB を使用したアプリケーションの内部状況の検証

アプリケーションが正しく機能しない理由を特定するには、実行を制御し、デバッガーで内部状態を検証します。本セクションでは、このタスクに GNU Debugger (GDB) を使用する方法を説明します。

8.1. GNU デバッガー (GDB)

Red Hat Enterprise Linux には GNU デバッガー (GDB) が含まれ、コマンドラインユーザーインターフェースを使用して、プログラム内で何が起こっているかを調べることができます。

GDB へのグラフィカルフロントエンドには、Eclipse 統合開発環境をインストールします。「Using Eclipse」を参照してください。

GDB 機能

1 つの GDB セッションで、以下のタイプのプログラムをデバッグできます。

- マルチスレッドプログラムおよびフォークプログラム
- 一度に複数のプログラム
- TCP/IP ネットワーク接続経由で接続された **gdbserver** ユーティリティーを使用するリモートマシンまたはコンテナー内のプログラム

デバッグの要件

実行コードをデバッグするには、GDB では、その特定のコードのデバッグ情報が必要です。

- ユーザーが開発したプログラムでは、コードの構築中にデバッグ情報を作成できます。
- パッケージからインストールしたシステムプログラムの場合は、debuginfo パッケージをインストールする必要があります。

8.2. プロセスへの GDB の割り当て

プロセスを検証するには、GDB がプロセスに **割り当てられている** 必要があります。

前提条件

- GCC がシステムにインストールされている。

GDB でのプログラムの起動

プログラムがプロセスとして実行していない場合は、GDB でプログラムを起動します。

```
$ gdb program
```

program は、ファイル名またはプログラムへのパスに置き換えます。

GDB は、プログラムの実行を開始するように設定します。**run** コマンドでプロセスの実行を開始する前に、ブレークポイントと **gdb** 環境を設定できます。

実行中のプロセスに GDB を割り当て

プロセスとして実行中のプログラムに GDB を割り当てるには、以下を行います。

1. **ps** コマンドで、プロセス ID (**pid**) を検索します。

```
$ ps -C program -o pid h
 pid
```

program は、ファイル名またはプログラムへのパスに置き換えます。

2. このプロセスに GDB を割り当てます。

```
$ gdb -p pid
```

pid は、**ps** の出力にある実際のプロセス ID 番号に置き換えます。

実行中のプロセスに実行中の GDB を割り当てる

実行中のプロセスに実行中の GDB を割り当てるには、以下を行います。

1. GDB コマンド **shell** を使用して **ps** コマンドを実行し、プログラムのプロセス ID (**pid**) を検索します。

```
(gdb) shell ps -C program -o pid h
 pid
```

program は、ファイル名またはプログラムへのパスに置き換えます。

2. **attach** コマンドを使用して、GDB をプログラムに割り当てます。

```
(gdb) attach pid
```

pid は、**ps** の出力にある実際のプロセス ID の番号に置き換えます。

注記

場合によっては、GDB が適切な実行ファイルを検索できない可能性があります。**file** コマンドを使用して、パスを指定します。

```
(gdb) file path/to/program
```

関連情報

- GDB を使用したデバッグ - 2.1 Invoking GDB
- GDB を使用したデバッグ - 4.7 Debugging an Already-running Process

8.3. GDB を使用したプログラムコードのステップ実行

GDB デバッガーがプログラムに割り当てられたら、複数のコマンドを使用して、プログラムの実行を制御できます。

前提条件

- 必要なデバッグ情報を利用できる状態にしている。
  - プログラムはコンパイルされ、デバッグ情報で構築されている。

    - 適切な debuginfo パッケージがインストールされている。

- GDB はデバッグするプログラムに割り当てられている。

コードをステップ実行する GDB コマンド

r (run)

プログラムの実行を開始します。引数を指定して **run** を実行すると、プログラムが通常起動したかのように、その引数が実行ファイルに渡されます。通常は、ブレークポイントの設定後にこのコマンドを実行します。

start

プログラムの実行を開始しますが、プログラムのメイン機能の開始時に停止します。**start** を引数と共に実行すると、その引数が、プログラムが通常起動したかのように実行ファイルに渡されます。

c (continue)

現在の状態からプログラムの実行を継続します。プログラムの実行は、以下のいずれかが True になるまで継続します。

- ブレークポイントに到達した場合
- 指定の条件を満たした場合
- プログラムによりシグナルを受信する場合
- エラーが発生した場合
- プログラムが終了する場合

n (next)

現在のソースファイルでコードが次の行に到達するまで、現在の状態からプログラムの実行を続行します。プログラムの実行は、以下のいずれかが True になるまで継続します。

- ブレークポイントに到達した場合
- 指定の条件を満たした場合
- プログラムによりシグナルを受信する場合
- エラーが発生した場合
- プログラムが終了する場合

s (step)

step コマンドは、現在のソースファイル内のコードの連続行ごとに実行を停止することも行います。ただし、**関数呼び出し** を含むソース行で実行が現在停止すると、GDB は、関数呼び出しを入力した後 (実行後ではなく)、実行を停止します。

until location

location オプションで指定したコードの場所に到達するまで、実行が継続します。

fini (finish)

プログラムの実行を再開し、実行が関数から返されたときに停止します。プログラムの実行は、以下のいずれかが True になるまで継続します。

- ブレークポイントに到達した場合

- 指定の条件を満たした場合
- プログラムによりシグナルを受信する場合
- エラーが発生した場合
- プログラムが終了する場合

q (quit)

実行を終了し、GDB を終了します。

関連情報

- 「GDB ブレークポイントを使用して、定義したコードの場所で実行を停止」
- GDB を使用したデバッグ - 4.2 Starting your Program
- GDB を使用したデバッグ - 5.2 Continuing and Stepping

8.4. GDB でのプログラム内部値の表示

プログラムの内部変数の値を表示することは、プログラムの実行内容を理解する際に重要です。GDB は、内部変数の検証に使用できる複数のコマンドを提供します。本セクションでは、このコマンドで最も便利なものを説明します。

p (print)

指定された引数の値を表示します。通常、引数は単純な 1 つの値から構造まで、あらゆる複雑な変数の名前です。引数は、プログラム変数とライブラリ関数、またはテスト対象のプログラムで定義した関数の使用を含む、現在の言語で有効な式にすることもできます。
pretty-printer Python スクリプトまたは Guile スクリプトを使用して GDB を拡張し、 **print** コマンドを使用して、(クラス、構造など) データ構造をカスタマイズ表示することができます。

bt (backtrace)

現在の実行ポイントに到達するために使用される関数呼び出しのチェーン、または実行が終了するまで使用される関数のチェーンを表示します。これは、深刻なバグ (セグメント障害など) を調査し、見つけるのが困難な原因に役に立ちます。
backtrace コマンドに **full** オプションを追加すると、ローカル変数も表示されます。

bt コマンドおよび **info frame** コマンドを使用して表示されるデータをカスタマイズして表示するために、**frame filter** Pythonスクリプトで GDB を拡張できます。**フレーム** という用語は、1 つの関数呼び出しに関連付けられたデータを指します。

info

info コマンドは、さまざまな項目に関する情報を提供する汎用コマンドです。これは、説明する項目を指定するオプションを取ります。

- **info args** コマンドは、現在選択されているフレームの関数呼び出しのオプションを表示します。
- **info locals** コマンドは、現在選択されているフレームにローカル変数を表示します。

使用できる項目を一覧表示するには、GDB セッションで **help info** コマンドを実行します。

```
(gdb) help info
```

l (list)

プログラムが停止するソースコードの行を表示します。このコマンドは、プログラムの実行が停止した場合のみ利用できます。**list** は、厳密には内部状態を表示するコマンドではありませんが、ユーザーがプログラムの実行の次の手順で内部状態にどのような変更が発生するかを理解するのに役立ちます。

関連情報

- Red Hat Developers Blog エントリー - The GDB Python API
- GDB を使用したデバッグ - 10.9 Pretty Printing

8.5. GDB ブレークポイントを使用して、定義したコードの場所で実行を停止

多くの場合は、コードの一部が調査されます。ブレークポイントは、コード内の特定の場所でプログラムの実行を停止するように GDB に指示を出すマーカーです。ブレークポイントは、ソースコードの行に関連付けられているのが最も一般的です。その場合、ブレークポイントを配置するには、ソースファイルと行番号を指定する必要があります。

- **ブレークポイントを配置する** には、以下を行います。
  - ソースコード **ファイル** の名前と、そのファイルの **行** を指定します。

    ```
    (gdb) br file:line
    ```

  - **ファイル** が存在しない場合は、現在の実行ポイントにソースファイルの名前が使用されます。

    ```
    (gdb) br line
    ```

  - または、関数名を使用して、起動時にブレークポイントを配置します。

    ```
    (gdb) br function_name
    ```

- タスクを特定の回数反復すると、プログラムでエラーが発生する可能性があります。実行を停止する追加の **条件** を指定するには、以下を使用します。

  ```
  (gdb) br file:line if condition
  ```

  condition を、C または C++ 言語の条件に置き換えます。 **ファイル** と **行** の意味は上記と同じになります。

- 全ブレークポイントおよびウォッチポイントの状態を **検証** する場合は、次のコマンドを実行します。

  ```
  (gdb) info br
  ```

- **info br** の出力で表示された **番号** を使用してブレークポイントを **削除** するには、次のコマンドを実行します。

```
(gdb) delete number
```

- 指定の場所のブレークポイントを **削除** するには、次のコマンドを実行します。

```
(gdb) clear file:line
```

関連情報

- GDB を使用したデバッグ - 5.1 Breakpoints, Watchpoints, and Catchpoints

8.6. データへのアクセスや変更を停止するための GDB ウォッチポイントの使用

多くの場合は、特定のデータが変更するまで、またはアクセスするまで、プログラムを実行させると有益です。このセクションでは、最も一般的なものを取り上げます。

前提条件

- GDB の理解

GDB でのウォッチポイントの使用

ウォッチポイントは、プログラムの実行を停止するように GDB に指示を出すマーカーです。ウォッチポイントはデータに関連付けられています。ウォッチポイントを配置するには、変数、複数の変数、またはメモリーアドレスを記述する式を指定する必要があります。

- データの **変更** (書き込み) を行うために、ウォッチポイントを **配置** するには、次を使用します。

```
(gdb) watch expression
```

expression を、監視する内容を記述する式に置き換えます。変数の場合、**式** は、変数の名前と同じです。

- データに **アクセス** (読み込み) を行うウォッチポイントを **配置** するには、次のコマンドを実行します。

```
(gdb) rwatch expression
```

- **あらゆる** データにアクセス (読み取りおよび書き込みの両方) するために、ウォッチポイントを **配置** するには、次のコマンドを実行します。

```
(gdb) awatch expression
```

- 全 **ウォッチポイント** およびブレークポイントの状態を検証するには、次のコマンドを使用します。

```
(gdb) info br
```

- ウォッチポイントを **削除** するには、次のコマンドを実行します。

```
(gdb) delete num
```

num オプションを、**info br** コマンドで返された番号に置き換えます。

関連情報

- GDB を使用したデバッグ - 5.1.2 Setting Watchpoints

8.7. GDB でのフォークまたはスレッド化されたプログラムのデバッグ

プログラムによっては、フォークまたはスレッドを使用して、並行コード実行を実現します。複数の同時実行パスをデバッグするには、特別な考慮事項が必要です。

前提条件

- プロセスのフォークおよびスレッドの概念を理解している。

GDB でのフォークされたプログラムのデバッグ

フォークとは、プログラム (**親**) が独立したコピー (**子**) を作成する状況です。フォーク発生時の GDB の動作に影響を与えるには、以下の設定およびコマンドを使用します。

- **follow-fork-mode** 設定で、フォークの後に GDB が親または子に従うかどうかを制御します。

  set follow-fork-mode parent

  フォークの後に、親プロセスのデバッグを実行します。これがデフォルトになります。

  set follow-fork-mode child

  フォークの後に子のプロセスをデバッグします。

  show follow-fork-mode

  follow-fork-mode の現在の設定を表示します。

- **set detach-on-fork** 設定では、GDB が (続いていない) 他のプロセスを制御するか、そのまま実行させるかを制御します。

  set detach-on-fork on

  続いていないプロセス (**follow-fork-mode** の値により異なる) は切り離され、独立して実行されます。これがデフォルトになります。

  set detach-on-fork off

  GDB は両方のプロセスの制御を維持します。(**follow-fork-mode** の値による) 従っているプロセスは通常通りにデバッグされ、もう一方は一時停止されます。

  show detach-on-fork

  detach-on-fork の現在の設定を表示します。

GDB でのスレッド化されたプログラムのデバッグ

GDB には、個別のスレッドをデバッグして、独立して操作および検査する機能があります。GDB が検証したスレッドのみを停止するには、**set non-stop on** コマンドおよび **set target-async on** コマンドを使用してします。これらのコマンドは、**.gdbinit** ファイルに追加できます。その機能が有効になると、GDB がスレッドのデバッグを実行する準備が整います。

GDB は、**現在のスレッド** の概念を使用します。デフォルトでは、コマンドは現在のスレッドのみに適用されます。

info threads

現在のスレッドを示す **id** 番号および **gid** 番号を使用してスレッドの一覧を表示します。

thread id

指定した **id** を現在のスレッドとして設定します。

thread apply ids command

command コマンドを、**ids** で一覧表示されたすべてのスレッドに適用します。**ids** オプションは、スペースで区切られたスレッド ID の一覧です。特殊な値 **all** は、すべてのスレッドにコマンドを適用します。

break location thread id if condition

スレッド番号 **id** に対してのみ特定の **condition** を持つ特定の **location** にブレークポイントを設定します。

watch expression thread id

スレッド番号 **id** に対してのみ **expression** で定義されるウォッチポイントを設定します。

command&

command コマンドを実行して、すぐに gdb プロンプト **(gdb)** に戻りますが、バックグラウンドでコード実行が続行されます。

interrupt

バックグラウンドでの実行が停止されます。

関連情報

- GDB を使用したデバッグ - 4.10 Debugging Programs with Multiple Threads
- GDB を使用したデバッグ - 4.11 Debugging Forks

第9章 アプリケーションの相互作用の記録

アプリケーションの実行コードは、オペレーティングシステムおよび共有ライブラリーのコードと相互作用します。この相互作用のアクティビティログを記録すると、実際のアプリケーションコードをデバッグしなくても、アプリケーションの動作を十分に把握できます。または、アプリケーションの相互作用を分析することで、バグが現れる条件を特定するのに役立ちます。

9.1. アプリケーションの相互作用の記録に役立つツール

Red Hat Enterprise Linux は、アプリケーションの相互作用を分析するための複数のツールを提供しています。

strace

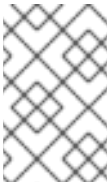
strace ツールは主に、アプリケーションが使用するシステムコール (カーネル関数) のロギングを有効にします。

- **strace** はパラメーターと、下層のカーネルコードの知識を持つ結果を解釈するため、**strace** ツールは、呼び出しに関する詳細な出力を提供することができます。数値は、定数名、フラグリストに展開されたビット単位の結合フラグ、実際の文字列を提供するために逆参照された文字配列へのポインターなどにそれぞれ変換されます。最新のカーネル機能のサポートがない場合があります。
- トレースされた呼び出しをフィルタリングして、取得するデータ量を減らすことができます。
- **strace** を使用するために、ログフィルターの設定以外に、特別な設定は必要ありません。
- **strace** を使用してアプリケーションコードをトレースすると、アプリケーションの実行が大幅に遅くなります。その結果、**strace** は、多くの実稼働デプロイメントには適していません。代替方法として、**ltrace** または SystemTap の使用を検討してください。
- Red Hat Developer Toolset で利用可能な **strace** のバージョンでは、システムコールの改ざんも行えます。この機能は、デバッグに役立ちます。

ltrace

ltrace ツールを使用すると、アプリケーションのユーザー空間呼び出しを共有オブジェクト (動的ライブラリー) に記録できます。

- **ltrace** ツールは、ライブラリーへの呼び出しを追跡できるようにします。
- トレースされた呼び出しをフィルタリングして、取得するデータ量を減らすことができます。
- **ltrace** を使用するために、ログフィルターの設定以外に、特別な設定は必要ありません。
- **ltrace** ツールは軽量で高速で、**strace** に代わる機能を提供します。**strace** でカーネルの関数を追跡する代わりに、**ltrace** で **glibc** など、ライブラリー内の各インターフェースを追跡できます。
- **ltrace** は、**strace** などの既知の呼び出しを処理しないため、ライブラリー関数に渡す値を記述することができません。**ltrace** の出力には、生の数値およびポインターのみが含まれます。**ltrace** の出力の解釈には、出力にあるライブラリーの実際のインターフェース宣言を確認する必要があります。



注記

Red Hat Enterprise Linux 8.0 では、既知の問題により、**ltrace** が実行ファイルを追跡できなくなります。この制限は、ユーザーが構築する実行ファイルには適用されません。

SystemTap

SystemTap は、Linux システムで実行中のプロセスおよびカーネルアクティビティーを調査するための計測プラットフォームです。SystemTap は、独自のスクリプト言語を使用してカスタムイベントハンドラーをプログラミングします。

- **strace** と **ltrace** の使用と比較して、ロギングのスクリプトを作成すると、初期の設定フェーズでより役に立つようになります。ただし、スクリプト機能では、ログを生成するだけでなく、SystemTap の有用性が高めます。
- SystemTap は、カーネルモジュールを作成および挿入することで機能します。SystemTap の使用は効率的であり、システムまたはアプリケーションの実行速度が大幅に低下することはありません。
- SystemTap には、一通りの使用例が提供されます。

GDB

GNU デバッガー (GDB) は主に、ロギングではなく、デバッグを目的としています。ただし、その機能の一部は、アプリケーションの相互作用が重要な主要なアクティビティーであるシナリオでも有用です。

- GDB を使用すると、相互作用イベントを取得して、後続の実行パスの即時デバッグを簡単に組み合わせることができます。
- GDB は、他のツールで問題のある状況を最初に特定した後、まれなイベントまたは特異なイベントへの応答を分析するのに最適です。イベントが頻繁に発生するシナリオで GDB を使用すると、効率が悪くなったり、不可能になったりします。

関連情報

- Red Hat Enterprise Linux SystemTap ビギナーズガイド
- Red Hat Developer Toolset User Guide

9.2. STRACE でアプリケーションのシステムコールの監視

strace ツールは、アプリケーションを実行するシステム (カーネル) コールの監視を有効にします。

前提条件

- **strace** がシステムにインストールされている。

手順

1. 監視するシステムコールを特定します。
2. **strace** を起動して、プログラムに割り当てます。
   - 監視するプログラムが実行していない場合は、**strace** を起動して、**プログラム** を指定しま

す。

```
$ strace -fvttTyy -s 256 -e trace=call program
```

- プログラムがすでに実行中の場合は、プロセス id (**pid**) を検索して、その id に **strace** を割り当てます。

```
$ ps -C program
(...)
$ strace -fvttTyy -s 256 -e trace=call -ppid
```

- **call** を、表示するシステムコールに置き換えます。**-e trace=call** オプションを複数回使用できます。何も指定しない場合、**strace** はすべてのシステムコールタイプを表示します。詳細は、man ページの **strace(1)** を参照してください。

- フォークしたプロセスまたはスレッドを追跡しない場合は、**-f** オプションを指定しないでください。

3. **strace** は、アプリケーションで作成したシステムコールとその詳細を表示します。
ほとんどの場合、システムコールのフィルターが設定されていないと、アプリケーションとそのライブラリーは多数の呼び出しを行い、**strace** 出力がすぐに表示されます。

4. **strace** ツールは、プログラムが終了すると終了します。
追跡しているプログラムの終了前に監視を中断するには、**Ctrl+C** を押します。

- **strace** でプログラムを起動すると、そのプログラムは **strace** とともに中断します。

- 実行中のプログラムに **strace** を割り当てると、そのプログラムは **strace** とともに中断します。

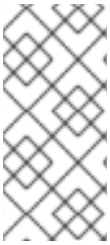
5. アプリケーションが実行したシステムコールの一覧を分析します。

- リソースへのアクセスや可用性の問題は、エラーを返すコールとしてログに表示されます。

- システムコールに渡される値とコールシーケンスのパターンは、アプリケーションの動作の原因に関する洞察を提供します。

- アプリケーションがクラッシュした場合、重要な情報はおそらくログの最後にあります。

- 出力には不要な情報が多く含まれています。ただし、目的のシステムコールに対してより正確なフィルターを作成し、この手順を繰り返すことができます。



注記

出力を確認し、ファイルに保存する利点はどちらもあります。これを行うには、**tee** コマンドを使用します。

```
$ strace ... |& tee your_log_file.log
```

関連情報

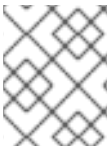
- man ページの **strace(1)**:

```
$ man strace
```

- ナレッジベースアーティクル - 「strace を使用して、コマンドが実行したシステムコールを追跡する」
- Red Hat Developer Toolset User Guide - 「strace」の章

9.3. LTRACE でアプリケーションのライブラリー関数呼び出しの監視

ltrace ツールは、ライブラリー (共有オブジェクト) で利用可能な関数へのアプリケーションの呼び出しを監視できます。



注記

Red Hat Enterprise Linux 8.0 では、既知の問題により、**ltrace** が実行ファイルを追跡できなくなります。この制限は、ユーザーが構築する実行ファイルには適用されません。

前提条件

- **ltrace** がシステムにインストールされている。

手順

1. 可能であれば、対象のライブラリーおよび関数を特定します。
2. **ltrace** を起動し、プログラムに割り当てます。
   - 監視するプログラムが実行していない場合は、**ltrace** を起動して、**プログラム** を指定します。

     ```
     $ ltrace -f -l library -e function program
     ```

   - プログラムがすでに実行中の場合は、プロセス id (**pid**) を検索して、その id に **ltrace** を割り当てます。

     ```
     $ ps -C program
     (...)
     $ ltrace -f -l library -e function program -ppid
     ```

   - **-e** オプション、**-f** オプション、および **-l** オプションを使用して、出力にフィルターを設定します。
     - **function** として表示される関数の名前を指定します。**-e function** オプションは複数回使用できます。何も指定しないと、**ltrace** は全関数への呼び出しを表示します。
     - 関数を指定する代わりに、**-l library** オプションでライブラリー全体を指定できます。このオプションは、**-e function** オプションと同じように動作します。
     - フォークしたプロセスまたはスレッドを追跡しない場合は、**-f** オプションを指定しないでください。

   詳細情報は、man ページの **ltrace**(1) を参照してください。
3. **ltrace** は、アプリケーションにより作成されたライブラリーコールを表示します。
   多くの場合は、フィルターが設定されていないと、アプリケーションは多数の呼び出しを作成し、**ltrace** の出力がすぐに表示されます。

4. **ltrace** は、プログラムが終了すると終了します。
追跡しているプログラムの終了前に監視を中断するには、**ctrl+C** を押します。

   - **ltrace** がプログラムを起動すると、プログラムは **ltrace** とともに終了します。
   - 実行中のプログラムに **ltrace** を割り当てると、プログラムは **ltrace** とともに終了します。

5. アプリケーションが実行したライブラリーコールの一覧を分析します。

   - アプリケーションがクラッシュした場合、重要な情報はおそらくログの最後にあります。
   - 出力には不要な情報が多く含まれています。ただし、より正確なフィルターを作成して、手順を繰り返すことができます。

注記

出力を確認し、ファイルに保存する利点はどちらもあります。これを行うには、**tee** コマンドを使用します。

```
$ ltrace ... |& tee your_log_file.log
```

関連情報

- man ページの **ltrace (1)**

```
$ man ltrace
```

- 『Red Hat Developer Toolset User Guide』の 「ltrace」の章

9.4. SYSTEMTAP を使用したアプリケーションのシステムコールの監視

SystemTap ツールでは、カーネルイベントにカスタムイベントハンドラーを登録できます。**strace** ツールと比較すると、使用は難しくなりますが、より効率的でより複雑な処理ロジックを使用できます。**strace.stp** と呼ばれる SystemTap スクリプトは SystemTap と共にインストールされ、SystemTap を使用して **strace** に類似の機能を提供します。

前提条件

- SystemTap と対応するカーネルパッケージがシステムにインストールされている必要がある。

手順

1. 監視するプロセスのプロセス ID (**pid**) を検索します。

```
$ ps -aux
```

2. **strace.stp** スクリプトで SystemTap を実行します。

```
# stap /usr/share/systemtap/examples/process/strace.stp -x pid
```

pid の値は、プロセス ID です。

スクリプトはカーネルモジュールにコンパイルされ、それが読み込まれます。これにより、コマンドの入力から出力の取得までにわずかな遅延が生じます。

3. プロセスがシステムコールを実行すると、コール名とそのパラメーターが端末に出力されます。

4. プロセスが終了した場合、または **Ctrl+C** を押すと、スクリプトは終了します。

9.5. GDB を使用したアプリケーションのシステムコールの傍受

GNU デバッガー (GDB) により、プログラムの実行中に発生するさまざまな状況で実行を停止できます。プログラムがシステムコールを実行するときに実行を停止するには、GDB の **チェックポイント** を使用します。

前提条件

- GDB ブレークポイントの使用量を理解している。
- GDB がプログラムに割り当てられている。

手順

1. キャッチポイントを設定します。

```
(gdb) catch syscall syscall-name
```

catch syscall コマンドは、プログラムがシステムコールを実行する際に実行を停止する特別なブレークポイントを設定します。

syscall-name オプションは、コールの名前を指定します。さまざまなシステムコールに対して、複数のキャッチポイントを指定できます。**syscall-name** オプションを指定しないと、システムコールで GDB が停止します。

2. プログラムの実行を開始します。

- プログラムにより、実行が開始していない場合は開始します。

```
(gdb) r
```

- プログラムの実行が停止した場合は、再開します。

```
(gdb) c
```

3. GDB は、プログラムが指定のシステムコールを実行した後に実行を停止します。

関連情報

- 「GDB でのプログラム内部値の表示」
- 「GDB を使用したプログラムコードのステップ実行」
- GDB を使用したデバッグ - Setting Watchpoints

9.6. GDB を使用したアプリケーションによるシグナル処理のインターセプト

GNU デバッガー (GDB) により、プログラムの実行中に発生するさまざまな状況で実行を停止できます。プログラムがオペレーティングシステムからシグナルを受信するときに実行を停止するには、GDB の **キャッチポイント** を使用します。

前提条件

- GDB ブレークポイントの使用量を理解している。
- GDB がプログラムに割り当てられている。

手順

1. キャッチポイントを設定します。

```
(gdb) catch signal signal-type
```

   catch signal コマンドは、プログラムがシステムコールを受けたときに実行を停止する特別なブレークポイントを設定します。**signal-type** オプションは、シグナルのタイプを指定します。すべてのシグナルを取得するには、特別な値 **all** を使用します。

2. プログラムを実行します。
   - プログラムにより、実行が開始していない場合は開始します。

```
(gdb) r
```

   - プログラムの実行が停止した場合は、再開します。

```
(gdb) c
```

3. GDB は、プログラムが指定のシグナルを受けると実行を停止します。

関連情報

- 「GDB でのプログラム内部値の表示」
- 「GDB を使用したプログラムコードのステップ実行」
- GDB を使用したデバッグ - 5.1.3 Setting Catchpoints

第10章 クラッシュしたアプリケーションのデバッグ

アプリケーションを直接デバッグできない場合があります。このような状況では、アプリケーションの終了時にアプリケーションに関する情報を収集し、後で分析できます。

10.1. コアダンプ: その概要と使用方法

コアダンプは、アプリケーションの動作が停止した時点のアプリケーションのメモリーの一部のコピーで、ELF 形式で保存されます。これには、アプリケーションの内部変数およびスタックがすべて含まれ、アプリケーションの最終的な状態を検査できます。各実行可能ファイルおよびデバッグ情報を追加すると、実行中のプログラムを分析するのと同様に、デバッガーでコアダンプファイルを分析できます。

Linux オペレーティングシステムカーネルは、この機能が有効な場合に、コアダンプを自動的に記録できます。または、実行中のアプリケーションにシグナルを送信すると、実際の状態に関係なくコアダンプを生成できます。

警告

一部の制限は、コアダンプを生成する機能に影響する場合があります。現在の制限を表示するには、次のコマンドを実行します。

```
$ ulimit -a
```

10.2. コアダンプによるアプリケーションのクラッシュの記録

アプリケーションのクラッシュを記録するには、コアダンプの保存内容を設定し、システムに関する情報を追加します。

手順

1. コアダンプを有効にするには、**/etc/systemd/system.conf** ファイルに以下の行が含まれていることを確認します。

   ```
   DumpCore=yes
   DefaultLimitCORE=infinity
   ```

   これらの設定が以前に存在したかどうか、以前の値が何であったかを説明するコメントを追加することもできます。これにより、必要に応じて、この変更を後で元に戻すことができます。コメントは、**#** 文字で始まる行です。

   ファイルを変更するには、管理者レベルのアクセスが必要です。

2. 新しい設定を適用します。

   ```
   # systemctl daemon-reexec
   ```

3. コアダンプサイズの制限を削除します。

   -

```
# ulimit -c unlimited
```

この変更を元に戻すには、**unlimited** ではなく、**0** を指定してコマンドを実行します。

4. システム情報を収集する **sosreport** ユーティリティーを提供する **sos** パッケージをインストールします。

```
# yum install sos
```

5. アプリケーションがクラッシュすると、コアダンプが生成され、**systemd-coredump** により処理されます。

6. SOS レポートを作成して、システムに関する追加情報を提供します。

```
# sosreport
```

これにより、設定ファイルのコピーなど、システムに関する情報が含まれる **.tar** アーカイブが作成されます。

7. コアダンプを探してエクスポートします。

```
$ coredumpctl list executable-name
$ coredumpctl dump executable-name > /path/to/file-for-export
```

アプリケーションが複数回クラッシュした場合、最初のコマンドの出力には、取得されたコアダンプがさらに一覧表示されます。その場合、2 番目のコマンドに対して、他の情報を使用してより正確なクエリーを作成します。詳細は、man ページ **coredumpctl(1)** を参照してください。

8. デバッグを行うコンピューターに、コアダンプと SOS レポートを移動します。既知の場合は、実行ファイルも転送します。

重要

実行可能ファイルが不明な場合は、コアファイルのその後の分析で特定します。

9. 必要に応じて、コアダンプと SOS レポートに移動後に削除して、ディスク領域を解放します。

関連情報

- **『基本的なシステム設定の構成』**の「systemd の概要」
- ナレッジベースアーティクル - 「アプリケーションがクラッシュまたはセグメンテーション違反が発生した時にコアファイルのダンプを有効にする」
- ナレッジベースアーティクル - 「Red Hat Enterprise Linux 上での sosreport の役割と取得方法」

10.3. コアダンプでアプリケーションのクラッシュ状態の検査

前提条件

- クラッシュが発生したシステムのコアダンプファイルと sosreport がある。

- GDB および elfutils がシステムにインストールされている。

手順

1. クラッシュが発生した実行ファイルを特定するには、コアダンプファイルを指定して **eu-unstrip** コマンドを実行します。

```
$ eu-unstrip -n --core=./core.9814
0x400000+0x207000 2818b2009547f780a5639c904cded443e564973e@0x400284
/usr/bin/sleep /usr/lib/debug/bin/sleep.debug [exe]
0x7fff26fff000+0x1000 1e2a683b7d877576970e4275d41a6aaec280795e@0x7fff26fff340 . -
linux-vdso.so.1
0x35e7e00000+0x3b6000
374add1ead31ccb449779bc7ee7877de3377e5ad@0x35e7e00280 /usr/lib64/libc-2.14.90.so
/usr/lib/debug/lib64/libc-2.14.90.so.debug libc.so.6
0x35e7a00000+0x224000
3ed9e61c2b7e707ce244816335776afa2ad0307d@0x35e7a001d8 /usr/lib64/ld-2.14.90.so
/usr/lib/debug/lib64/ld-2.14.90.so.debug ld-linux-x86-64.so.2
```

出力には、行ごとに各モジュールの詳細が、スペースで区切られます。情報は以下の順序で一覧表示されます。

1. モジュールがマッピングされているメモリーアドレス
2. モジュールのビルド ID、およびメモリー内の場所
3. モジュールの実行ファイル名 - 不明の場合は **-**、モジュールがファイルから読み込まれていない場合は **.** と表示されます。
4. デバッグ情報のソース - 使用可能な場合はファイル名が表示されます。実行ファイル自体に含まれている場合は **.**、存在しない場合は **-** と表示されます。
5. 主要なモジュールの共有ライブラリー名 (**soname**) または **[exe]**

この例では、重要な詳細は、テキスト **[exe]** を含む行のファイル名 **/usr/bin/sleep** と、ビルド ID **2818b2009547f780a5639c904cded443e564973e** です。この情報を使用して、コアダンプの分析に必要な実行ファイルを特定できます。

2. クラッシュした実行ファイルを取得します。

- 可能であれば、クラッシュが発生したシステムからコピーします。コアファイルから抽出したファイル名を使用します。
- システムで同じ実行ファイルを使用することもできます。Red Hat Enterprise Linux にビルドされた実行ファイルはそれぞれ、固有の build-id 値を持つメモが含まれています。関連する、ローカルで利用可能な実行ファイルの build-id を特定します。

```
$ eu-readelf -n executable_file
```

この情報を使用して、リモートシステムの実行ファイルを、ローカルコピーと一致させます。ローカルファイルの build-id とコアダンプに記載されている build-id は一致する必要があります。

- 最後に、アプリケーションが RPM パッケージからインストールされている場合は、パッケージから実行ファイルを取得できます。**sosreport** 出力を使用して、必要なパッケージの正確なバージョンを確認します。

3. 実行ファイルで使用する共有ライブラリーを取得します。実行ファイルと同じ手順を使用します。

4. アプリケーションがパッケージとして配布されている場合は、GDB で実行ファイルを読み込み、足りない debuginfo パッケージに関するヒントを表示します。詳細は「GDB を使用したアプリケーションまたはライブラリーの debuginfo パッケージの取得」を参照してください。

5. コアファイルを詳細に調べるには、GDB で実行ファイルとコアダンプファイルを読み込みます。

```
$ gdb -e executable_file -c core_file
```

不足しているファイルとデバッグ情報に関する追加のメッセージは、デバッグセッションで不足しているものを特定するのに役に立ちます。必要に応じて直前の手順に戻ります。

アプリケーションのデバッグ情報がパッケージではなくファイルとして利用できる場合は、**symbol-file** コマンドを使用してこのファイルを GDB に読み込みます。

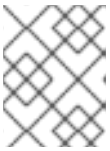
```
(gdb) symbol-file program.debug
```

program.debug は、実際のファイル名に置き換えます。

注記

コアダンプに含まれるすべての実行ファイルのデバッグ情報をインストールする必要はない場合があります。これらの実行ファイルの多くは、アプリケーションコードで使用するライブラリーです。これらのライブラリーは、分析している問題への直接の原因ではない場合があり、そのようなデバッグ情報を含める必要はありません。

6. GDB コマンドを使用して、クラッシュした時点のアプリケーションの状態を検証します。*8章GDB を使用したアプリケーションの内部状況の検証*を参照してください。



注記

コアファイルを分析する場合に、GDB が実行中のプロセスに割り当てられるわけではありません。実行を制御するコマンドは影響を受けません。

関連情報

- GDB を使用したデバッグ - 2.1.1 Choosing Files
- GDB を使用したデバッグ - 18.1 Commands to Specify Files
- GDB を使用したデバッグ - 18.3 Debugging Information in Separate Files

10.4. COREDUMPCTL を使用したコアダンプの作成およびアクセス

systemd の **coredumpctl** ツールは、クラッシュが発生したマシン上のコアダンプの処理を大幅に合理化できます。この手順では、応答しないプロセスのコアダンプを取得する方法を説明します。

前提条件

- システムは、コアダンプの処理に **systemd-coredump** を使用するように設定している。true かどうか確認するには、次のコマンドを実行します。

```
$ sysctl kernel.core_pattern
```

次の内容で出力が始まる場合は、設定が適切です。

```
kernel.core_pattern = |/usr/lib/systemd/systemd-coredump
```

手順

1. 実行ファイル名の既知の部分に基づいて、ハングしたプロセスの PID を検索します。

```
$ pgrep -a executable-name-fragment
```

このコマンドは、フォームの行を出力します。

```
PID command-line
```

command-line 値を使用して、**PID** が目的のプロセスに属することを確認します。

以下に例を示します。

```
$ pgrep -a bc
5459 bc
```

2. 中断シグナルをプロセスに送信します。

```
# kill -ABRT PID
```

3. コアが **coredumpctl** で取得されていることを確認します。

```
$ coredumpctl list PID
```

以下に例を示します。

```
$ coredumpctl list 5459
TIME                            PID   UID   GID SIG COREFILE  EXE
Thu 2019-11-07 15:14:46 CET    5459  1000  1000   6 present   /usr/bin/bc
```

4. 必要に応じて、コアファイルをさらに検証または使用します。
PID と他の値でコアダンプを指定できます。詳細は、man ページの **coredumpctl(1)** を参照してください。

- コアファイルの詳細を表示します。

```
$ coredumpctl info PID
```

- GDB デバッガーでコアファイルを読み込むには、次のコマンドを実行します。

```
$ coredumpctl debug PID
```

デバッグ情報の可用性によっては、GDB は次のようなコマンドを実行するコマンドを提案します。

```
Missing separate debuginfos, use: dnf debuginfo-install bc-1.07.1-5.el8.x86_64
```

このプロセスの詳細は、「GDB を使用したアプリケーションまたはライブラリーの debuginfo パッケージの取得」を参照してください。

- その後の処理を別の場所でするためにコアファイルをエクスポートするには、次のコマンドを実行します。

```
$ coredumpctl dump PID > /path/to/file_for_export
```

/path/to/file_for_export を、コアダンプを配置するファイルに置き換えます。

10.5. GCORE を使用したプロセスメモリーのダンプ

コアダンプのデバッグのワークフローでは、プログラムの状態をオフラインで分析できます。場合によっては、このプロセスの環境にアクセスするのが困難な場合など、実行中のプログラムでこのワークフローを使用できます。**gcore** コマンドを使用すると、実行中にプロセスのメモリーをダンプできます。

前提条件

- コアダンプの概要と作成方法を理解している。
- GCC がシステムにインストールされている。

手順

1. プロセス ID (**pid**) を検索します。**ps**、**pgrep**、**top** などのツールを使用します。

```
$ ps -C some-program
```

2. このプロセスのメモリーをダンプします。

```
$ gcore -o filename pid
```

これでファイル **filename** が作成され、その中にプロセスメモリーがダンプされます。メモリーをダンプしている間は、プロセスの実行は停止します。

3. コアダンプが終了すると、プロセスは通常の実行を再開します。
4. SOS レポートを作成して、システムに関する追加情報を提供します。

```
# sosreport
```

これにより、設定ファイルのコピーなど、システムに関する情報が含まれる .tar アーカイブが作成されます。

5. デバッグを行うコンピューターに、プログラムの実行ファイル、コアダンプ、および SOS レポートを移動します。
6. 必要に応じて、コアダンプと SOS レポートに移動後に削除して、ディスク領域を解放します。

関連情報

- ナレッジベースアーティクル - 「How to obtain a core file without restarting an application?」

10.6. GDB での保護されたプロセスメモリーのダンプ

プロセスのメモリーをダンプしないようにマークできます。これにより、銀行、会計アプリケーション、または仮想マシン全体など、プロセスメモリーに機密データが含まれる場合は、リソースを節約し、セキュリティーを強化できます。カーネルのコアダンプ (**kdump**) および手動のコアダンプ (**gcore**、GDB) は、このようにマークされたメモリーをダンプしません。

場合によっては、これらの保護に関係なく、プロセスメモリーの内容全体をダンプする必要があります。この手順では、GDB デバッガーを使用してこれを行う方法を説明します。

前提条件

- コアダンプとは何かを理解する必要がある。
- GCC がシステムにインストールされている。
- GDB は、メモリーが保護されているプロセスに割り当てられている。

手順

1. **/proc/PID/coredump_filter** ファイルの設定を無視するように GDB を設定します。

```
(gdb) set use-coredump-filter off
```

2. メモリーページのフラグ **VM_DONTDUMP** を無視するように GDB を設定します。

```
(gdb) set dump-excluded-mappings on
```

3. メモリーをダンプします。

```
(gdb) gcore core-file
```

core-file を、メモリーをダンプするファイルの名前に置き換えます。

関連情報

- GDB を使用したデバッグ - How to Produce a Core File from Your Program

第11章 GDB で互換性に影響を与える変更

Red Hat Enterprise Linux 8 で提供される GDB のバージョンは、特に GDB の出力が端末から直接読み込まれる場合に、互換性に影響を与える変更が多数含まれています。次のセクションは、この変更の詳細を提供します。

GDB の出力の解析は推奨されません。Python GDB API または GDB Machine Interface (MI) を使用するスクリプトが推奨されます。

GDBserver がシェルで inferior を開始

inferior コマンドライン引数で拡張や変数置換を有効にするために、GDBserver では、GDB と同じように、シェルで inferior を開始するようになりました。

シェルを使用して無効にするには、以下を行います。

- GDB コマンド **target extended-remote** を使用する場合は、**set startup-with-shell off** コマンドでシェルが無効になります。
- GDB コマンド **target remote** を使用する場合は、GDBserver の **--no-startup-with-shell** オプションでシェルが無効になります。

> **例11.1 リモートの GDB inferior へのシェル拡張例**
>
> この例は、GDBserver から **/bin/echo** /* コマンドを実行する方法が Red Hat Enterprise Linux versions 7 および 8 でどのように異なるかを示します。
>
> - RHEL 7 の場合:
>
> ```
> $ gdbserver --multi :1234
> $ gdb -batch -ex 'target extended-remote :1234' -ex 'set remote exec-file /bin/echo' -ex
> 'file /bin/echo' -ex 'run /*'
> /*
> ```
>
> - RHEL 8 の場合:
>
> ```
> $ gdbserver --multi :1234
> $ gdb -batch -ex 'target extended-remote :1234' -ex 'set remote exec-file /bin/echo' -ex
> 'file /bin/echo' -ex 'run /*'
> /bin /boot (...) /tmp /usr /var
> ```

gcj サポートが削除される

Java 用の GNU Compiler でコンパイルされた Java プログラムをデバッグへの対応 (**gcj**) が削除されました。

シンボルのダンプのメンテナンスコマンドの新しい構文

シンボルのダンプのメンテナンスコマンド構文に、ファイル名の前にオプションが追加されました。これにより、RHEL 7 の GDB で機能するコマンドが、RHEL 8 では機能しなくなりました。

例として、次のコマンドはファイルにシンボルを格納しませんが、エラーメッセージを生成します。

```
(gdb) maintenance print symbols /tmp/out main.c
```

シンボルのダンプのメンテナンスコマンドの新しい構文は、以下のようになります。

```
maint print symbols [-pc address] [--] [filename]
maint print symbols [-objfile objfile] [-source source] [--] [filename]
maint print psymbols [-objfile objfile] [-pc address] [--] [filename]
maint print psymbols [-objfile objfile] [-source source] [--] [filename]
maint print msymbols [-objfile objfile] [--] [filename]
```

スレッド番号がグローバルではなくなる

GDB は、グローバルのスレッド番号設定のみを使用していました。番号設定は、**inferior_num.thread_num** の形式 (**2.1** など) で、inferior ごとに表示されるように拡張されました。そのため、利便性に関する変数 **$_thread** と、Python 属性 **InferiorThread.num** のスレッド番号が、inferior の間で一意ではなくなりました。

GDB は、スレッドごとに、グローバルスレッド ID と呼ばれる 2 番目のスレッド ID を格納します。これは、以前のリリースのスレッド番号と同等の、新規のものになります。グローバルスレッド番号にアクセスするには、利便性に関する変数 **$_gthread** および Python 属性 **InferiorThread.global_num** を使用します。

後方互換性の場合は、Machine Interface (MI) のスレッド ID に、常にグローバル ID が含まれます。

例11.2 GDB スレッド番号変更の例

Red Hat Enterprise Linux 7 の場合:

```
# debuginfo-install coreutils
$ gdb -batch -ex 'file echo' -ex start -ex 'add-inferior' -ex 'inferior 2' -ex 'file echo' -ex start -ex 'info
threads' -ex 'pring $_thread' -ex 'inferior 1' -ex 'pring $_thread'
(...)
  Id   Target Id         Frame
* 2    process 203923 "echo" main (argc=1, argv=0x7fffffffdb88) at src/echo.c:109
  1    process 203914 "echo" main (argc=1, argv=0x7fffffffdb88) at src/echo.c:109
$1 = 2
(...)
$2 = 1
```

Red Hat Enterprise Linux 8 の場合:

```
# dnf debuginfo-install coreutils
$ gdb -batch -ex 'file echo' -ex start -ex 'add-inferior' -ex 'inferior 2' -ex 'file echo' -ex start -ex 'info
threads' -ex 'pring $_thread' -ex 'inferior 1' -ex 'pring $_thread'
(...)
  Id   Target Id         Frame
  1.1  process 4106488 "echo" main (argc=1, argv=0x7fffffffce58) at ../src/echo.c:109
* 2.1  process 4106494 "echo" main (argc=1, argv=0x7fffffffce58) at ../src/echo.c:109
$1 = 1
(...)
$2 = 1
```

値の中身に対するメモリーが制限される

GDB は、以前は、値のコンテンツに割り当てられるメモリー量に制限を課していませんでした。その結果、誤ったプログラムをデバッグすると、GDB が割り当てるメモリー量が多くなりすぎていました。割り当てたメモリーの量を制限できるように、**max-value-size** 設定が追加されました。この制限のデフォルト値は 64 KiB です。これにより、Red Hat Enterprise Linux 8 の GDB では、表示される値が大きくなりすぎることはありませんが、その値が大きすぎることが報告されます。

たとえば、**char s[128*1024];** と定義された値を出力すると、異なる結果が生成されます。

- Red Hat Enterprise Linux 7 では、**$1 = 'A' <repeats 131072 times>** となります。
- Red Hat Enterprise Linux 8 では、**value requires 131072 bytes, which is more than max-value-size** (値には 131072 バイトが必要ですが、この値は max-value-size を超えています) と表示されます。

スタブ形式の Sun のバージョンがサポート対象外になる

Sun バージョンの **stabs** デバッグファイルフォーマットに対応しなくなりました。RHEL で **gcc -gstabs** オプションを使用して GCC が生成した **stabs** フォーマットは、GDB でも引き続きサポートされます。

Sysroot 処理変更

set sysroot path コマンドは、デバッグに必要なファイルを検索する際にシステムルートを指定します。このコマンドに適用したディレクトリー名は、文字列 **target:** のプレフィックスになり、GDB が、(ローカルおよびリモートの) ターゲットシステムの共有ライブラリーを読み込みます。以前は利用できた **remote:** プレフィックスは、**target:** として扱われるようになりました。さらに、デフォルトのシステム root の値は、後方互換性として、空の文字列から **target:** に変更になりました。

GDB がリモートのプロセスを開始したり、すでに実行しているプロセス (ローカルおよびリモートの両方) に接続する際に、指定したシステムの root が、主な実行ファイルのファイル名の先頭に追加されます。これは、プロセスがリモートの場合に、デフォルト値 **target:** が、GDB がリモートシステムからデバッグ情報を読み込もうとすることを示しています。これが発生しないようにするには、**target remote** コマンドの前に **set sysroot** コマンドを実行して、ローカルのシンボルファイルが、リモートのファイルが見つかるよりも早く見つかるようにします。

HISTSIZE が GDB コマンドの履歴サイズを制御しなくなる

HISTSIZE 環境変数に使用されている GDB は、コマンド履歴がどのぐらい保存されるかを指定していました。代わりに **GDBHISTSIZE** 環境変数が使用されるように変更になりました。この変数は、GDB に固有になります。可能な値とその効果は次のとおりです。

- 正の数 - このサイズのコマンド履歴を使用
- **-1** または空の文字列 - コマンド履歴をすべて保持
- 数値以外の値 - 無視

完了制限が追加される

set max-completions コマンドを使用して、完了時に検討される候補の最大値が制限されるようになりました。現在の制限を表示するには、**show max-completions** コマンドを実行します。デフォルト値は 200 です。この制限により、GDB が、生成する完了リストが大きすぎて、応答しなくならないようにします。

たとえば、**p <tab><tab>** の入力後の出力は、以下のようになります。

- RHEL 7 の場合 - **Display all 29863 possibilities? (y or n)**
- RHEL 8 の場合 - **Display all 200 possibilities? (y or n)**

HP-UX XDB 互換性モードが削除される

HP-UX XDB 互換性モードの **-xdb** オプションが GDB から削除されています。

スレッドのシグナル処理

GDB は、シグナルが実際に送信されるスレッドの代わりに、現在のスレッドへシグナルを配信していました。このバグは修正され、実行を再開する際に GDB が現在のスレッドへ、常にシグナルを渡すようになりました。

また、**signal** コマンドは、現在のスレッドに、必要なシグナルを常に正しく配信するようになりました。シグナルに対してプログラムが停止したり、ユーザーがスレッドを切り替えた場合は、GDB により確認が求められます。

ブレークポイントモードが常に挿入され、自動的にマージされる

breakpoint always-inserted 設定が変更しました。**auto** 値と対応する動作が削除されました。デフォルト値は **off** です。**off** の場合は、すべてのスレッドが停止するまで、GDB がターゲットからブレークポイントを削除しないようになります。

remotebaud コマンドがサポート対象外に

set remotebaud コマンドおよび **show remotebaud** コマンドがサポートされなくなりました。代わりに **set serial baud** コマンドおよび **show serial baud** コマンドを使用してください。

パート III. 開発用の追加ツールセット

オペレーティングシステムの一部として利用可能な開発ツールのほかに、開発者は Red Hat Enterprise Linux に追加のツールセットをインストールできます。このツールセットには、さまざまな言語、代替ツールチェーン、またはシステムツールの代替バージョンのツールが含まれます。

第12章 GCC TOOLSET の使用

12.1. GCC TOOLSET とは

Red Hat Enterprise Linux 8 では、最新バージョンの開発ツールおよびパフォーマンス解析ツールを含む GCC Toolset が Application Stream に導入されました。GCC Toolset は、RHEL 7 の Red Hat Developer Toolset に類似したツールセットです。

GCC Toolset は、**AppStream** リポジトリーにおいて、Software Collection の形式で、Application Stream として利用できます。GCC Toolset は、Red Hat Enterprise Linux サブスクリプション契約で完全にサポートされており、機能的に完全で、実稼働環境での使用を対象としています。GCC Toolset が提供するアプリケーションおよびライブラリーは、Red Hat Enterprise Linux システムのバージョンを置き換えず、上書きせず、自動的にデフォルトまたは推奨される選択肢になるわけではありません。Software Collection というフレームワークを使用すると、追加の開発者ツールセットが **/opt/** ディレクトリーにインストールされ、ユーザーが **scl** ユーティリティーを使用してオンデマンドで明示的に有効にします。特定のツールや機能について特に記載がない限り、Red Hat Enterprise Linux が対応するすべてのアーキテクチャーで GCC Toolset が利用できます。

12.2. GCC TOOLSET のインストール

システムに GCC Toolset をインストールすると、メインのツールと、必要な依存関係がすべてインストールされます。ツールセットの一部はデフォルトではインストールされず、個別にインストールする必要があります。

手順

- GCC Toolset バージョン **N** をインストールするには、次のコマンドを実行します。

```
# yum install gcc-toolset-N
```

12.3. GCC TOOLSET からの個別パッケージのインストール

ツールセット全体ではなく、GCC Toolset から特定のツールのみをインストールするには、利用可能なパッケージの一覧を表示し、**yum** パッケージ管理ツールで選択したツールをインストールします。この手順では、デフォルトではツールセットでインストールされていないパッケージにも便利です。

手順

1. GCC Toolset バージョン **N** で利用可能なパッケージの一覧を表示します。

```
$ yum list available gcc-toolset-N-\*
```

2. このパッケージのいずれかをインストールするには、次のコマンドを実行します。

```
# yum install package_name
```

package_name を、インストールするパッケージの一覧に置き換えます。パッケージ名はスペースで区切られます。たとえば、**gcc-toolset-9-gdb-gdbserver** パッケージおよび **gcc-toolset-9-gdb-doc** パッケージをインストールするには、次のコマンドを実行します。

```
# yum install gcc-toolset-9-gdb-gdbserver gcc-toolset-9-gdb-doc
```

12.4. GCC TOOLSET のアンインストール

システムから GCC Toolset を削除するには、**yum** パッケージ管理ツールを使用してアンインストールします。

手順

- GCC Toolset バージョン **N** をアンインストールするには、次のコマンドを実行します。

```
# yum remove gcc-toolset-N\*
```

12.5. GCC TOOLSET のツールの実行

GCC Toolset のツールを実行するには、**scl** ユーティリティーを使用します。

手順

- GCC Toolset バージョン **N** のツールを実行するには、次のコマンドを実行します。

```
$ scl enable gcc-toolset-N tool
```

12.6. GCC TOOLSET でシェルセッションの実行

GCC Toolset では、**scl** コマンドを明示的に使用せずに、このようなツールのシステムバージョンの代わりに、GCC Toolset ツールのバージョンを使用しているシェルセッションを実行できます。これは、開発設定のセットアップ時またはテスト時など、ツールを何度もインタラクティブに起動する必要がある場合に便利です。

手順

- GCC Toolset バージョン **N** のツールバージョンが、このようなツールのシステムバージョンをオーバーライドするシェルセッションを実行するには、次のコマンドを実行します。

```
$ scl enable gcc-toolset-N bash
```

12.7. 関連情報

- Red Hat Developer Toolset User Guide

第13章 GCC TOOLSET 9

本章では、GCC Toolset バージョン 9 に固有の情報と、このバージョンに含まれるツールを説明します。

13.1. GCC TOOLSET 9 が提供するツールおよびバージョン

GCC Toolset 9 は、以下のツールおよびバージョンを提供します。

表13.1 GCC Toolset 9 のツールバージョン

名前	バージョン	説明
GCC	9.2.1	C、C++、および Fortran に対応するポータブルなコンパイラースイート。
GDB	8.3	C、C++、および Fortran で記述されたプログラムのコマンドラインデバッガー。
Valgrind	3.15.0	メモリーエラーを検出したり、メモリー管理問題を特定したり、システムコールで引数が間違って使用されているのを報告するために、アプリケーションのプロファイルを行うインストルメンテーションフレームワークや多数のツールです。
SystemTap	4.1	インストルメント化、再コンパイル、インストール、および再起動を行わずにシステム全体のアクティビティーを監視するトレースおよびプローブのツール。
Dyninst	10.1.0	実行時にユーザー空間の実行ファイルをインストルメント化し、作業するためのライブラリー。
binutils	2.32	オブジェクトファイルおよびバイナリーを検査および操作するためのバイナリーツールおよびその他のユーティリティーのコレクション。
elfutils	0.176	ELF ファイルを検証および操作するためのバイナリーツールおよびその他のユーティリティーのコレクション。
dwz	0.12	ELF 共有ライブラリーおよび ELF 実行ファイルに含まれる DWARF デバッグ情報 (サイズ) を最適化するツール。
make	4.2.1	ビルド自動化ツールの依存関係の追跡。
strace	5.1	プログラムが使用するシステムコールを監視し、受信するシグナルを監視するデバッグツール。
ltrace	0.7.91	プログラムが作成する動的ライブラリーへの呼び出しを表示するデバッグツール。また、プログラムが実行するシステムコールを監視することもできます。
annobin	9.08	ビルドセキュリティーチェックツール。

13.2. GCC TOOLSET 9 での C++ 互換性

重要

ここで示されている互換性情報は、GCC Toolset 9 の GCC にのみ適用されます。

GCC Toolset の GCC コンパイラーは、以下の C++ 規格を使用できます。

C++14

これは、GCC Toolset 9 の **デフォルト** の言語標準設定で、GNU 拡張機能は、**-std=gnu++14** オプションを明示的に使用するのと同じです。
適切なフラグでコンパイルされた C++ オブジェクトがすべて、GCC バージョン 6 以降を使用してビルドされている場合は、C++14 言語バージョンの使用に対応します。

C++11

この言語の規格は、GCC Toolset 9 で利用できます。
適切なフラグでコンパイルされた C++ オブジェクトがすべて、GCC バージョン 5 以降を使用してビルドされている場合は、C++11 言語バージョンの使用に対応しています。

C++98

この言語の規格は、GCC Toolset 9 で利用できます。この規格を使用して構築されたバイナリー、共有ライブラリー、およびオブジェクトは、GCC Toolset、Red Hat Developer Toolset、ならびに RHEL 5、6、7、および 8 の GCC でビルドされているかどうかにかかわらず、自由に組み合わせることができます。

C++17, C++2a

このような言語の規格は、GCC Toolset 9 では実験的で、不安定な、サポート対象外の機能としてのみ利用できます。さらに、この規格を使用して構築されたオブジェクト、バイナリーファイル、およびライブラリーの互換性は保証できません。

すべての言語規格は、規格に準拠したバリアントまたは GNU 拡張機能の両方で利用できます。

GCC Toolset で構築されたオブジェクトを、RHEL ツールチェーン (特に **.o** ファイルまたは **..a** ファイル) で構築したオブジェクトと混在する場合、GCC Toolset ツールチェーンはどの連携にも使用する必要があります。これにより、GCC Toolset が提供する新しいライブラリー機能は、リンク時に解決されます。

13.3. GCC TOOLSET 9 での GCC の詳細

ライブラリーの静的リンク

最新のライブラリー機能の一部は、複数のバージョンの Red Hat Enterprise Linux での実行に対応するために、GCC Toolset で構築されたアプリケーションに静的にリンクされています。標準の Red Hat Enterprise Linux エラータではこのコードが変更されないため、これにより、重要性が高くないセキュリティーリスクが発生します。Red Hat は、このリスクにより、開発者がアプリケーションを再構築する必要がある場合でも、セキュリティーエラータを使用してこのアプリケーションと通信します。

重要

このようなセキュリティーリスクが発生するため、開発者は同じ理由によりアプリケーション全体を静的にリンクしないことが強く推奨されます。

連結時に、オブジェクトファイルの後にライブラリーを指定

GCC Toolset では、ライブラリーは、静的アーカイブで一部のシンボルを指定できるリンカースクリプトを使用してリンクされます。これは、Red Hat Enterprise Linux の複数のバージョンとの互換性を確保するために必要になります。ただし、リンカーのスクリプトは、対応する共有オブジェクトファイルの名前を使用します。したがって、リンカーは、オブジェクトファイルを指定するオプションの前に、ライブラリーを追加するオプションを指定する際に、想定とは異なるシンボル処理ルールを使用して、オブジェクトファイルが必要とするシンボルを認識しません。

```
$ scl enable gcc-toolset-9 'gcc -lsomelib objfile.o'
```

この方法で GCC Toolset のライブラリーを使用すると、リンカーのエラーメッセージで、**シンボルの参照が未定義** になります。この問題を回避するには、標準のリンクプラクティスに従い、オブジェクトファイルを指定するオプションの後に、ライブラリーを追加するオプションを指定します。

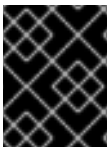
```
$ scl enable gcc-toolset-9 'gcc objfile.o -lsomelib'
```

この推奨事項は、Red Hat Enterprise Linux のベースバージョンの **GCC** を使用する場合にも適用されることに注意してください。

13.4. GCC TOOLSET 9 における BINUTILS の詳細

ライブラリーの静的リンク

最新のライブラリー機能の一部は、複数のバージョンの Red Hat Enterprise Linux での実行に対応するために、GCC Toolset で構築されたアプリケーションに静的にリンクされています。標準の Red Hat Enterprise Linux エラータではこのコードが変更されないため、これにより、重要性が高くないセキュリティーリスクが発生します。Red Hat は、このリスクにより、開発者がアプリケーションを再構築する必要がある場合でも、セキュリティーエラータを使用してこのアプリケーションと通信します。



重要

このようなセキュリティーリスクが発生するため、開発者は同じ理由によりアプリケーション全体を静的にリンクしないことが強く推奨されます。

連結時に、オブジェクトファイルの後にライブラリーを指定

GCC Toolset では、ライブラリーは、静的アーカイブで一部のシンボルを指定できるリンカースクリプトを使用してリンクされます。これは、Red Hat Enterprise Linux の複数のバージョンとの互換性を確保するために必要になります。ただし、リンカーのスクリプトは、対応する共有オブジェクトファイルの名前を使用します。したがって、リンカーは、オブジェクトファイルを指定するオプションの前に、ライブラリーを追加するオプションを指定する際に、想定とは異なるシンボル処理ルールを使用して、オブジェクトファイルが必要とするシンボルを認識しません。

```
$ scl enable gcc-toolset-9 'ld -lsomelib objfile.o'
```

この方法で GCC Toolset のライブラリーを使用すると、リンカーのエラーメッセージで、**シンボルの参照が未定義** になります。この問題を回避するには、標準のリンクプラクティスに従い、オブジェクトファイルを指定するオプションの後に、ライブラリーを追加するオプションを指定します。

```
$ scl enable gcc-toolset-9 'ld objfile.o -lsomelib'
```

また、この推奨事項は、Red Hat Enterprise Linux のベースバージョンの **binutils** を使用している場合にも適用されることに注意してください。

第14章 GCC TOOLSET コンテナーイメージの使用

GCC Toolset 9 コンポーネントが、以下のコンテナーイメージ 2 つで利用可能になりました。

- GCC Toolset 9 ツールチェーン
- GCC Toolset 9 Perftools

GCC Toolset コンテナーイメージは **rhel8** ベースイメージをベースとしており、RHEL 8 で対応しているすべてのアーキテクチャーで利用できます。

- AMD アーキテクチャーおよび Intel 64 ビットアーキテクチャー
- 64 ビット ARM アーキテクチャー
- IBM Power Systems (リトルエンディアン)
- IBM Z

14.1. GCC TOOLSET コンテナーイメージの内容

GCC Toolset 9 コンテナーイメージで提供されるツールバージョンは、GCC Toolset 9 コンポーネントのバージョン と一致します。

GCC Toolset 9 ツールチェーンの内容

rhel8/gcc-toolset-9-toolchain イメージは、GCC コンパイラー、GDB デバッガー、およびその他の開発関連ツールを提供します。コンテナーイメージは、以下のコンポーネントで構成されます。

コンポーネント	パッケージ
gcc	gcc-toolset-9-gcc
g++	gcc-toolset-9-gcc++
gfortran	gcc-toolset-9-gfortran
gdb	gcc-toolset-9-gdb

GCC Toolset 9 Perftools の内容

rhel8/gcc-toolset-9-perftools イメージは、アプリケーションのデバッグ、パフォーマンスの監視、詳細な分析を行うためのツールを多数提供します。コンテナーイメージは、以下のコンポーネントで構成されます。

コンポーネント	パッケージ
Valgrind	gcc-toolset-9-valgrind
SystemTap	gcc-toolset-9-systemtap

コンポーネント	パッケージ
Dyninst	gcc-toolset-9-dyninst
elfutils	gcc-toolset-9-elfutils

関連情報

- RHEL 7 で GCC Toolset コンポーネントを使用するには、RHEL 7 ユーザー用に同様の開発者ツールである『Red Hat Developer Toolset User Guide』を使用します。
- RHEL 7 で Red Hat Developer Toolset イメージを使用する手順 - 「Red Hat Developer Toolset images」

14.2. GCC TOOLSET コンテナーイメージへのアクセスおよび実行

次のセクションでは、GCC Toolset 9 コンテナーイメージにアクセスして実行する方法を説明します。

前提条件

- Podman がインストールされている。

手順

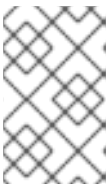
1. カスタマーポータルの認証情報を使用して Red Hat Container Registry にアクセスします。

```
$ podman login registry.redhat.io
Username: username
Password: ********
```

2. root で適切なコマンドを実行して、必要なコンテナーイメージをプルします。

```
# podman pull registry.redhat.io/rhel8/gcc-toolset-9-toolchain
```

```
# podman pull registry.redhat.io/rhel8/gcc-toolset-9-perftools
```



注記

RHEL 8.1 以降のバージョンでは、root 以外のユーザーとしてコンテナーを操作するようにシステムを設定できます。詳細は「root または root 以外のユーザーとしてコンテナーの実行」を参照してください。

3. オプション: ローカルシステムにあるすべてのコンテナーイメージを一覧表示するコマンドを実行して、プルが正常に完了したことを確認します。

```
# podman images
```

4. コンテナー内で bash シェルを起動して、コンテナーを実行します。

```
# podman run -it image_name /bin/bash
```

-i オプションを指定すると対話セッションが作成されます。このオプションを使用しないと、シェルが開き、すぐに終了します。

-t オプションは端末セッションを開きますが、このオプションを使用しないと、シェルに何も入力できません。

関連情報

- RHEL 8 での Linux コンテナーの構築、実行、および管理
- Red Hat ブログ記事 - 「Understanding root inside and outside a container」
- Red Hat Container Registry のエントリー - GCC Toolset コンテナーイメージ

14.3. 例: GCC TOOLSET 9 TOOLCHAIN コンテナーイメージの使用

この例は、GCC Toolset 9 Toolchain コンテナーイメージを使用してプルおよび起動する方法を示しています。

前提条件

- Podman がインストールされている。

手順

1. カスタマーポータルの認証情報を使用して Red Hat Container Registry にアクセスします。

```
$ podman login registry.redhat.io
Username: username
Password: ********
```

2. root でコンテナーイメージをプルします。

```
# podman pull registry.redhat.io/rhel8/gcc-toolset-9-toolchain
```

3. root で対話式シェルを使用してコンテナーイメージを起動します。

```
# podman run -it registry.redhat.io/rhel8/gcc-toolset-9-toolchain /bin/bash
```

4. 期待どおりに GCC Toolset ツールを実行します。たとえば、**gcc** コンパイラーのバージョンを確認するには、以下のコマンドを実行します。

```
bash-4.4$ gcc -v
...
gcc version 9.2.1 20191120 (Red Hat 9.2.1-2) (GCC)
```

5. コンテナーで提供されるパッケージの一覧を表示するには、以下のコマンドを実行します。

```
bash-4.4$ rpm -qa
```

第15章 コンパイラーツールセット

RHEL 8.0 は、以下のコンパイラーツールセットを、アプリケーションストリームとして提供します。

- LLVM Toolset 9.0.1 は、LLVM コンパイラーインフラストラクチャーフレームワーク、C 言語および C++ 言語用の Clang コンパイラー、LLDB デバッガー、コード解析の関連ツールを提供します。『Using LLVM Toolset』を参照してください。

- Rust Toolset 1.41 は、Rust プログラミング言語コンパイラー **rustc**、**cargo** ビルドツールおよび依存マネージャー、**cargo-vendor** プラグイン、および必要なライブラリーを提供します。『Using Rust Toolset』を参照してください。

- Go Toolset 1.13 は、Go プログラミング言語ツールおよびライブラリーを提供します。Go は、**golang** としても知られています。『Using Go Toolset』を参照してください。

第16章 ANNOBIN プロジェクト

Annobin プロジェクトは、Watermark 仕様プロジェクトの実装です。Watermark 仕様プロジェクトでは、プロパティーを判別するためにマーカーを Executable and linkable Format (ELF) オブジェクトに追加することを目的としています。Annobin プロジェクトは、**annobin** プラグインと **annockeck** プログラムで構成されます。

annobin プラグインは、GNU コンパイラーコレクション (GCC) コマンドライン、コンパイル状態、およびコンパイルプロセスをスキャンし、ELF ノートを生成します。ELF は、バイナリーを構築する方法を記録し、annocheck **プログラム** がセキュリティーの強化チェックを実行する情報を提供します。

セキュリティー強化チェッカーは、**annocheck** プログラムの一部で、デフォルトで有効になっています。バイナリーファイルをチェックして、必要なセキュリティー強化オプションでプログラムがビルドされたかどうかを判断し、適切にコンパイルします。**annocheck** は、ELF オブジェクトファイルのディレクトリー、アーカイブ、および RPM パッケージを再帰的にスキャンできます。

注記

ファイルは ELF 形式でなければなりません。**annocheck** は、他のバイナリーファイルタイプを処理しません。

以下のセクションでは、以下を行う方法を説明します。

- **annobin** プラグインを使用する
- **annocheck** プログラムを使用する
- 冗長な **annobin** メモを削除する

16.1. ANNOBIN プラグインの使用

以下のセクションでは、以下を行う方法を説明します。

- **annobin** プラグインを有効にする
- オプションを **annobin** プラグインに渡す

16.1.1. annobin プラグインの有効化

次のセクションでは、**gcc** および **clang** で **annobin** プラグインを有効にする方法を説明します。

手順

- **gcc** で **annobin** プラグインを有効にするには、以下を使用します。

```
$ gcc -fplugin=annobin
```

  - **gcc** が **annobin** プラグインを見つけない場合は、以下を使用します。

```
$ gcc -iplugindir=/path/to/directory/containing/annobin/
```

    /path/to/directory/containing/annobin/ を、**annobin** を含むディレクトリーへの絶対パスに置き換えます。

- **annobin** プラグインを含むディレクトリーを検索するには、以下を使用します。

```
$ gcc --print-file-name=plugin
```

- **clang** で **annobin** プラグインを有効にするには、以下を使用します。

```
$ clang -fplugin=/path/to/directory/containing/annobin/
```

/path/to/directory/containing/annobin/ を、**annobin** を含むディレクトリーへの絶対パスに置き換えます。

16.1.2. オプションを annobin プラグインに渡す

次のセクションでは、**gcc** を介して、および **clang** を介して、オプションを **annobin** プラグインに渡す方法を説明します。

手順

- **gcc** で **annobin** プラグインにオプションを渡すには、以下のコマンドを使用します。

```
$ gcc -fplugin=annobin -fplugin-arg-annobin-option file-name
```

option を **annobin** コマンドライン引数に置き換え、file-name をファイルの名前に置き換えます。

例

- **annobin** の動作に関する詳細を表示するには、次のコマンドを使用します。

```
$ gcc -fplugin=annobin -fplugin-arg-annobin-verbose file-name
```

file-name を、ファイルの名前に置き換えます。

- **clang** でオプションを **annobin** プラグインに渡すには、以下を使用します。

```
$ clang -fplugin=/path/to/directory/containing/annobin/ -Xclang -plugin-arg-annobin -Xclang option file-name
```

option を、**annobin** コマンドライン引数に置き換え、/path/to/directory/containing/annobin/ を、**annobin** を含むディレクトリーへの絶対パスに置き換えます。

例

- **annobin** の動作に関する詳細を表示するには、次のコマンドを使用します。

```
$ clang -fplugin=/usr/lib64/clang/10/lib/annobin.so -Xclang -plugin-arg-annobin -Xclang verbose file-name
```

file-name を、ファイルの名前に置き換えます。

16.2. ANNOCHECK プログラムの使用

以下のセクションでは、**annocheck** を使用して検証する方法を説明します。

- ファイル
- ディレクトリー
- RPM パッケージ
- **annocheck** の追加ツール

注記

annocheck は、ELF オブジェクトファイルのディレクトリー、アーカイブ、RPM パッケージを再帰的にスキャンします。ファイルは ELF 形式でなければなりません。**annocheck** は、他のバイナリーファイルタイプを処理しません。

16.2.1. annocheck を使用したファイルの検証

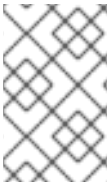
次のセクションでは、**annocheck** を使用して ELF ファイルを調べる方法を説明します。

手順

- ファイルを調べるには、以下を使用します。

```
$ annocheck file-name
```

file-name を、ファイルの名前に置き換えます。



注記

ファイルは ELF 形式でなければなりません。**annocheck** は、他のバイナリーファイルタイプを処理しません。**annocheck** は、ELF オブジェクトファイルを含む静的ライブラリーを処理します。

関連情報

- **annocheck** および使用可能なコマンドラインオプションの詳細は、man ページの **annocheck** を参照してください。

16.2.2. annocheck を使用したディレクトリーの検証

次のセクションでは、**annocheck** を使用してディレクトリー内の ELF ファイルを調べる方法を説明します。

手順

- ディレクトリーをスキャンするには、以下を使用します。

```
$ annocheck directory-name
```

directory-name をディレクトリー名に置き換えます。**annocheck** はディレクトリーの内容、そのサブディレクトリー、およびディレクトリー内のアーカイブおよび RPM パッケージを自動的に検査します。

注記

annocheck は ELF ファイルのみを検索します。その他のファイルタイプは無視されます。

関連情報

- **annocheck** および使用可能なコマンドラインオプションの詳細は、man ページの **annocheck** を参照してください。

16.2.3. annocheck を使用した RPM パッケージの検証

次のセクションでは、**annocheck** を使用して RPM パッケージの ELF ファイルを調べる方法を説明します。

手順

- RPM パッケージをスキャンするには、以下のコマンドを使用します。

```
$ annocheck rpm-package-name
```

rpm-package-name を、RPM パッケージの名前に置き換えます。**annocheck** は、RPM パッケージ内のすべての ELF ファイルを再帰的にスキャンします。

注記

annocheck は ELF ファイルのみを検索します。その他のファイルタイプは無視されます。

- RPM パッケージを、提供されたデバッグ情報 RPM でスキャンするには、以下を使用します。

```
$ annocheck rpm-package-name --debug-rpm debuginfo-rpm
```

rpm-package-name を RPM パッケージの名前に置き換え、**debuginfo-rpm** をバイナリー RPM に関連付けられたデバッグ情報 RPM の名前に置き換えます。

関連情報

- **annocheck** および使用可能なコマンドラインオプションの詳細は、man ページの **annocheck** を参照してください。

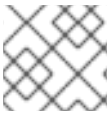
16.2.4. annocheck の追加ツールの使用

annocheck には、バイナリーファイルを調べるための複数のツールが含まれています。これらのツールは、コマンドラインオプションで有効にできます。

以下のセクションでは、以下を有効にする方法を説明します。

- **built-by** ツール
- **notes** ツール
- **section-size**ツール

複数のツールを同時に有効にできます。



注記

強化チェッカーはデフォルトで有効になっています。

16.2.4.1. built-by ツールの有効化

annocheck built-by ツールを使用して、バイナリーファイルをビルドしたコンパイラーの名前を見つけることができます。

手順

- **built-by** ツールを有効にするには、次のコマンドを使用します。

```
$ annocheck --enable-built-by
```

関連情報

- **built-by** ツールの詳細は、**--help** コマンドラインオプションを参照してください。

16.2.4.2. notes ツールの有効化

annocheck の **notes** ツールを使用して、**annobin** プラグインで作成されたバイナリーファイルに保存されているノートを表示できます。

手順

- **notes** ツールを有効にするには、以下のコマンドを使用します。

```
$ annocheck --enable-notes
```

notes は、アドレス範囲でソートされた順序で表示されます。

関連情報

- **notes** ツールの詳細は、**--help** コマンドラインオプションを参照してください。

16.2.4.3. section-size ツールの有効化

annocheck の **section-size** ツールを使用すると、名前付きセクションのサイズを表示できます。

手順

- **section-size** ツールを有効にするには、次のコマンドを使用します。

```
$ annocheck --section-size=name
```

name を、named セクションの名前に置き換えます。出力は、特定のセクションに制限されます。最後に累積結果が生成されます。

関連情報

- **section-size** ツールの詳細は、**--help** コマンドラインオプションを参照してください。

16.2.4.4. チェッカーの基本の強化

強化チェッカーはデフォルトで有効になっています。**--disable-hardened** コマンドラインオプションを使用すると、強化チェッカーを無効にできます。

16.2.4.4.1. チェッカーオプションの強化

annocheck プログラムは、以下のオプションを確認します。

- レイジーバインディングは、**-z now** リンカーオプションを使用して無効にします。
- プログラムには、メモリーの実行可能な領域にスタックがありません。
- GOT テーブルの再配置は読み取り専用に設定されます。
- プログラムセグメントには、読み取り、書き込み、実行のパーミッションビットセットがすべて含まれていません。
- 実行可能なコードに対する再配置はありません。
- ランタイム時に共有ライブラリーを見つけるランパス情報には、/usr で root となるディレクトリーのみが含まれます。
- このプログラムは、**annobin** ノートが有効な状態でコンパイルされています。
- プログラムは、**-fstack-protector-strong** オプションを指定してコンパイルされています。
- プログラムは、**-D_FORTIFY_SOURCE=2** でコンパイルされています。
- プログラムは、**-D_GLIBCXX_ASSERTIONS** でコンパイルされています。
- プログラムは、**-fexceptions** を有効にしてコンパイルされています。
- プログラムは、**-fstack-clash-protection** を有効にしてコンパイルされています。
- プログラムは、**-O2** 以降でコンパイルされています。
- プログラムには、書き込み可能で保持されている再配置はありません。
- 動的な実行ファイルには動的セグメントがあります。
- 共有ライブラリーは、**-fPIC** または **-fPIE** でコンパイルされています。
- 動的な実行可能ファイルは、**-fPIE** でコンパイルされ、**-pie** でリンクされています。
- 利用可能な場合は、**-fcf-protection=full** オプションが使用されていました。
- 利用可能な場合は、**-mbranch-protection** オプションが使用されていました。
- 利用可能な場合は、**-mstackrealign** オプションが使用されました。

16.2.4.4.2. 強化チェッカーの無効化

次のセクションでは、強化チェッカーを無効にする方法を説明します。

手順

- 強化チェッカーなしでファイルのノートをスキャンするには、以下を使用します。

```
$ annocheck --enable-notes --disable-hardened file-name
```

file-name を、ファイルの名前に置き換えます。

16.3. 冗長な ANNOBIN メモの削除

annobin を使用すると、バイナリーのサイズが増えます。**annobin** でコンパイルしたバイナリーのサイズを縮小するには、冗長な **annobin** ノートを削除できます。冗長な **annobin** ノートを削除するには、**binutils** パッケージに含まれる **objcopy** プログラムを使用します。

手順

- 冗長な **annobin** ノートを削除するには、以下を使用します。

```
$ objcopy --merge-notes file-name
```

file-name を、ファイルの名前に置き換えます。

パート IV. 補足

第17章 コンパイラーおよび開発ツールにおける互換性に影響を与える変更

librtkaio が削除される

この更新では、**librtkaio** ライブラリーが削除されました。このライブラリーは、ファイルへの高パフォーマンスのリアルタイム非同期 I/O アクセスを提供していました。これは、Linux の KAIO (kernel Asynchronous I/O) サポートに基づいています。

削除の結果は以下のようになります。

- **librtkaio** を読み込む **LD_PRELOAD** メソッドを使用するアプリケーションは、不明なライブラリーに関する警告を表示し、代わりに **librt** ライブラリーを読み込み、適切に実行します。
- **librtkaio** を読み込む **LD_LIBRARY_PATH** メソッドを使用するアプリケーションは、代わりに **librt** ライブラリーを読み込んで適切に実行し、警告は表示されません。
- **dlopen()** システムコールを使用するアプリケーションでは、代わりに **librtkaio** が **librt** ライブラリーを直接読み込みます。

librtkaio のユーザーには以下のオプションがあります。

- 自身のアプリケーションを変更せずに、上記のフォールバックメカニズムを使用。
- **librt** ライブラリーを使用するようにアプリケーションのコードを変更。互換性のある POSIX 準拠 API が提供されます。
- 互換性のある API を提供する **libaio** ライブラリーを使用するようにアプリケーションのコードを変更。

特定の条件では、**librt** と **libaio** の両方が、同じ機能および性能を提供します。

Red Hat 互換性レベルは、**libaio** パッケージが 2 になります。**librtk** と削除された **librtkaio** の場合は 1 です。

詳細は「Changes/GLIBC223 librtkaio removal」を参照してください。

Sun RPC インターフェースおよび NIS インターフェースが glibc から削除される

glibc ライブラリーは、新しいアプリケーションに Sun RPC および NIS のインターフェースを提供しなくなりました。このインターフェースは、レガシーアプリケーションを実行する場合にのみ利用できるようになりました。開発者は、Sun RPC の代わりに **libtirpc** ライブラリー、そして NIS の代わりに **libnsl2** ライブラリーを使用するようにアプリケーションを変更する必要があります。アプリケーションは、置換ライブラリーの IPv6 サポートを利用します。

32 ビット Xen の nosegneg ライブラリーが削除される

glibc i686 パッケージは、以前は代替の **glibc** ビルドに含まれており、負のオフセット (**nosegneg**) を使用して、スレッド記述子セグメントレジスターの使用を回避していました。この代替ビルドは、ハードウェアの仮想化サポートを使用せず、フル準仮想化のコストを削除するための最適化として、32 ビットバージョンの Xen Project ハイパーバイザーでのみ使用されます。この代替ビルドはこれ以上使用されず、削除されます。

make の新しい演算子 != を使用すると一部の makefile の既存構文で解釈が異なる

シェル代入演算子 **!=** が GNU **make** に、BSD makefile との互換性を高める **$(shell ...)** の代わりに追加されました。これにより、**variable!=value** のように、感嘆符で終わり、その後に代入が続く名前の変数は、新しいシェル割り当てとして解釈されるようになりました。以前の動作に戻すには、**variable! =value** のように、感嘆符の後にスペースを追加します。

演算子と関数の詳細と相違点は、GNU の **make** マニュアルを参照してください。

MPI デバッグサポート用 valgrind ライブラリーが削除される

valgrind-openmpi パッケージが提供する Valgrind の **libmpiwrap.so** ラッパーライブラリーが削除されました。このライブラリーにより、MPI (Message Passing Interface) を使用して、**Valgrind** がプログラムをデバッグできるようになりました。このライブラリーは、以前のバージョンの Red Hat Enterprise Linux の Open MPI 実装バージョンに固有です。

libmpiwrap.so を使用する場合は、MPI 実装およびバージョンに固有のアップストリームソースから独自のバージョンを構築することが推奨されます。**LD_PRELOAD** 技術を使用して、カスタムビルドのライブラリーを **Valgrind** に提供します。

開発用ヘッダーおよび静的ライブラリーが valgrind-devel から削除される

valgrind-devel サブパッケージは、カスタムの valgrind ツールを開発する開発ファイルを追加するために使用されていました。このファイルには保証された API がないため、この更新によりこのファイルが削除され、静的なリンクが必要となり、サポート対象外となります。**valgrind-devel** パッケージには、valgrind が有効なプログラムや、**valgrind.h**、**callgrind.h**、**drd.h**、**helgrind.h**、**memcheck.h** などのヘッダーファイルに対する開発ファイルが含まれます。このファイルは安定しており、十分にサポートされます。

第18章 RHEL 8 で、RHEL 6 または RHEL 7 のアプリケーションを実行する方法

Red Hat Enterprise Linux 8 で Red Hat Enterprise Linux 6 または 7 のアプリケーションを実行する場合は、さまざまな選択肢があります。システム管理者には、アプリケーション開発者の詳細なガイダンスが必要です。以下は、Red Hat が提供するオプション、検討事項、およびリソースの概要になります。

RHEL バージョンが一致するゲスト OS の仮想マシンでアプリケーションを実行する

このオプションではリソースコストが高まりますが、環境はアプリケーションの要件にほぼ一致しており、このアプローチでは検討事項がそれほど必要ありません。これは、現在推奨されるオプションです。

各 RHEL バージョンをベースにしたコンテナーでアプリケーションを実行する

リソースのコストは上記の場合よりも低くなりますが、設定要件はより厳しくなります。コンテナーホストとゲストのユーザー領域の関係の詳細は「Red Hat Enterprise Linux Container Compatibility Matrix」を参照してください。

RHEL 8 でアプリケーションをネイティブに実行する

このオプションは、リソースのコストが一番低くなりますが、要件が最も厳しくなります。アプリケーション開発者が、RHEL 8 システムの正しい設定を決定する必要があります。以下の資料は、開発者がこのタスクを行う際に役に立ちます。

- Red Hat Enterprise Linux 8: アプリケーションの互換性ガイド
- Red Hat Enterprise Linux 7: Application Compatibility Guide
- Red Hat Enterprise Linux 8.0 リリースノート
- RHEL 8 の導入における検討事項

上記は、アプリケーションの互換性を判断するのに必要な資料を網羅しているわけではありません。既知の非互換の変更や、互換性に関する Red Hat ポリシーに関する資料であり、出発点にしかなりません。

「kABI (Kernel Application Binary Interface) とは何ですか?」も併せて参照してください。ナレッジベースのアーティクルには、カーネルおよび互換性に関連する情報が記載されています。