



## 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



# 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

## 法律上の通知

Copyright © 2024 Red Hat, Inc.

The text of and illustrations in this document are licensed by Red Hat under a Creative Commons Attribution–Share Alike 3.0 Unported license ("CC-BY-SA"). An explanation of CC-BY-SA is available at

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

. In accordance with CC-BY-SA, if you distribute this document or an adaptation of it, you must provide the URL for the original version.

Red Hat, as the licensor of this document, waives the right to enforce, and agrees not to assert, Section 4d of CC-BY-SA to the fullest extent permitted by applicable law.

Red Hat, Red Hat Enterprise Linux, the Shadowman logo, the Red Hat logo, JBoss, OpenShift, Fedora, the Infinity logo, and RHCE are trademarks of Red Hat, Inc., registered in the United States and other countries.

Linux<sup>®</sup> is the registered trademark of Linus Torvalds in the United States and other countries.

Java<sup>®</sup> is a registered trademark of Oracle and/or its affiliates.

XFS<sup>®</sup> is a trademark of Silicon Graphics International Corp. or its subsidiaries in the United States and/or other countries.

MySQL<sup>®</sup> is a registered trademark of MySQL AB in the United States, the European Union and other countries.

Node.js<sup>®</sup> is an official trademark of Joyent. Red Hat is not formally related to or endorsed by the official Joyent Node.js open source or commercial project.

The OpenStack<sup>®</sup> Word Mark and OpenStack logo are either registered trademarks/service marks or trademarks/service marks of the OpenStack Foundation, in the United States and other countries and are used with the OpenStack Foundation's permission. We are not affiliated with, endorsed or sponsored by the OpenStack Foundation, or the OpenStack community.

All other trademarks are the property of their respective owners.

## 概要

Red Hat Enterprise Linux 8 で利用可能なさまざまな機能とユーティリティーを使用して、C および C++ アプリケーションを開発およびデバッグします。

## 目次

多様性を受け入れるオープンソースの強化 .....	3
RED HAT ドキュメントへのフィードバック (英語のみ) .....	4
<b>第1章 開発ワークステーションの設定 .....</b>	<b>5</b>
1.1. 前提条件 .....	5
1.2. デバッグおよびソースのリポジトリの有効化 .....	5
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 .....	5
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 .....	6
1.5. アプリケーションをデバッグするための設定 .....	7
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 .....	7
<b>第2章 C または C++ アプリケーションの作成 .....</b>	<b>9</b>
2.1. GCC でのビルドコード .....	9
2.2. GCC でのライブラリーの使用 .....	16
2.3. GCC でのライブラリーの作成 .....	24
2.4. MAKE でのさらなるコードの管理 .....	27
2.5. RHEL 7 以降の TOOLCHAIN の変更点 .....	30
<b>第3章 デバッグアプリケーション .....</b>	<b>36</b>
3.1. デバッグ情報を使用したデバッグの有効化 .....	36
3.2. GDB を使用したアプリケーションの内部状況の検証 .....	40
3.3. アプリケーションの対話の記録 .....	48
3.4. クラッシュしたアプリケーションのデバッグ .....	54
3.5. GDB で互換性に影響を与える変更 .....	61
3.6. コンテナ内のアプリケーションのデバッグ .....	65
<b>第4章 開発用の追加ツールセット .....</b>	<b>68</b>
4.1. GCC TOOLSET の使用 .....	68
4.2. GCC TOOLSET 9 .....	69
4.3. GCC TOOLSET 10 .....	72
4.4. GCC TOOLSET 11 .....	75
4.5. GCC TOOLSET 12 .....	79
4.6. GCC TOOLSET 13 .....	82
4.7. GCC TOOLSET コンテナイメージの使用 .....	85
4.8. コンパイラツールセット .....	88
4.9. ANNOBIN プロジェクト .....	88
<b>第5章 補足 .....</b>	<b>96</b>
5.1. コンパイラおよび開発ツールにおける互換性に影響を与える変更 .....	96
5.2. 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 .....	97



## 多様性を受け入れるオープンソースの強化

Red Hat では、コード、ドキュメント、Web プロパティにおける配慮に欠ける用語の置き換えに取り組んでいます。まずは、マスター (master)、スレーブ (slave)、ブラックリスト (blacklist)、ホワイトリスト (whitelist) の 4 つの用語の置き換えから始めます。この取り組みは膨大な作業を要するため、今後の複数のリリースで段階的に用語の置き換えを実施して参ります。詳細は、[Red Hat CTO である Chris Wright のメッセージ](#) をご覧ください。

## RED HAT ドキュメントへのフィードバック (英語のみ)

Red Hat ドキュメントに関するご意見や感想をお寄せください。また、改善点があればお知らせください。

### Jira からのフィードバック送信 (アカウントが必要)

1. [Jira](#) の Web サイトにログインします。
2. 上部のナビゲーションバーで **Create** をクリックします。
3. **Summary** フィールドにわかりやすいタイトルを入力します。
4. **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追加してください。
5. ダイアログの下部にある **Create** 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およびソースリポジトリが有効になっていません。このリポジトリには、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
64 ビット 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

- git パッケージをインストールします。

```
# yum install git
```

- 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。

- 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

- デバグリポジトリおよびソースリポジトリが有効である。

### 手順

- 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"
```

- 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ーンをインストールします。

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

- 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およびソースリポジトリが有効である。

### 手順

- 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
```

- 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
```

- 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。

- 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

- [「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およびソースリポジトリが有効である。

### 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
```

## 第2章 C または C++ アプリケーションの作成

### 2.1. GCC でのビルドコード

ソースコードを実行可能コードに変換する必要がある状況について説明します。

#### 2.1.1. 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3つ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表示されます。

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リストは、gcc の man ページを参照してください。

```
$ man gcc
```

- **コンパイラ** 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可能ファイルは、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) の実行可能ファイルは、**.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エーションです。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) に **gcc** コマンドを1つ使用できます。GCC は、アクションとそのシーケンスを自動的に選択します。

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はリンクされます (以前にコンパイルしたソースも含む)。

GCC を実行して、1つのステップでコンパイルのみ、リンクのみ、またはコンパイルとリンクの両方を実行できます。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」](#)
- [例: GCC で C++ プログラムの構築 \(1 つの手順でコンパイルとリンク\)](#)
- [例: GCC を使用した C プログラムの構築 \(2 つの手順でコンパイルとリンク\)](#)

### 2.1.2. 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 \(1 つの手順でコンパイルとリンク\)」](#)

### 2.1.3. 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実行すると、元のソースコードと関連付けることが難しい実行可能コードが生成される場合があります。変数が最適化されたり、ループがアンロールされたり、操作が周囲の操作にマージされたりする可能性があります。これにより、デバッグに負の影響が及ぶ可能性があります。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は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ることに留意してください。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

- [「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
```

### 2.1.4. 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	コンパイル速度の最適化 - 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。

レベル	説明
<b>fast</b>	レベルを <b>3</b> にして、 <b>fast</b> 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
<b>g</b>	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: [Options That Control Optimization](#)
- GCC の Linux man ページ:

```
$ man gcc
```

### 2.1.5. 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、以下のオプションリスト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

### 2.1.6. 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。リンクにより、オブジェクトファイルやライブラリーがすべて実行可能ファイルに統合されます。

#### 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リストの前に、必要なオプションを追加します。詳細は、「[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 \(1つの手順でコンパイルとリンク\)](#)」
- 「[静的リンクおよび動的リンク](#)」

### 2.1.7. 例: GCC で C プログラムの構築 (1つの手順でコンパイルとリンク)

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。

この例では、コードをコンパイルおよびリンクする方法を1つの手順で行います。

#### 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、リンクします。

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

これにより、コードがコンパイルされ、オブジェクトファイル **hello.o** が作成され、オブジェクトファイルから実行ファイル **helloworld** がリンクされます。

4. 作成された実行可能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」](#)

## 2.1.8. 例: GCC を使用した C プログラムの構築 (2つの手順でコンパイルとリンク)

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。

この例では、コードのコンパイルとリンクは、2つの別個のステップです。

### 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可能ファイル **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」](#)

### 2.1.9. 例: GCC で C++ プログラムの構築 (1つの手順でコンパイルとリンク)

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。

この例では、コードをコンパイルおよびリンクする方法を1つの手順で行います。

## 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、リンクします。

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

これにより、コードがコンパイルされ、オブジェクトファイル **hello.o** が作成され、オブジェクトファイルから実行ファイル **helloworld** がリンクされます。

4. 作成された実行可能ファイルを実行します。

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

## 2.1.10. 例: GCC を使用した C++ プログラムの構築 (2つの手順でコンパイルとリンク)

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。

この例では、コードのコンパイルとリンクは、2つの別個のステップです。

### 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可能ファイル **helloworld** をリンクします。

```
┆ $ g++ hello.o -o helloworld
```

5. 作成された実行可能ファイルを実行します。

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

## 2.2. GCC でのライブラリーの使用

コード内でのライブラリーの使用について説明します。

### 2.2.1. 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** の名前ですが、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」](#)

### 2.2.2. 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。特に Red Hat Enterprise Linux で C および C++ 言語を使用するコンテキストでは、静的リンクと動的リンクの違いを理解することが重要です。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、作成される実行可能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、これらのライブラリーを別々のファイルとして保持します。

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

静的リンクにより、より多くのコードが含まれるより大きな実行可能ファイルが生成されます。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の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は依然として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 (resident 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

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、それらのライブラリーに依存する実行可能ファイルを変更せずに更新できます。これは、特に、Red Hat Enterprise Linux の一部として提供され、Red Hat がセキュリティ更新を提供するライブラリーで重要になります。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可能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り、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エーションは、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せん。

## 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** はスレッドや、同じプログラム内の **dlopen()** 関数に対する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](#) の説明

## 2.2.3. 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 つの部分で設定されます。

- 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イスを記述します。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 コンパイラコレクション (GCC) の使用: [Options for Directory Search](#)
- GNU コンパイラコレクション (GCC) の使用: [Options for Linking](#)

### 2.2.4. 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。

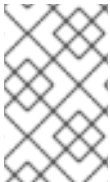


## 注記

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設定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ほとんどは、動的リンク用としてのみサポートされています。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 ... -lheader_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
```





### 警告

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。

## 2.2.5. 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可能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設定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 ... -Llibrary_path -lfoo ...
```

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 ... -Llibrary_path -lfoo -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。



### 重要

`-Wl,-rpath=` オプションのコンマの後にスペースを追加しないでください。

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
```

## 2.2.6. 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バージョンの **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、オプションをリンカーに渡す

### 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、リンカーのオプションをコマ区切りのリストにして入力します。ただし、他の `gcc` オプションには、スペース区切りのリストにしてオプションを指定する必要があります。

`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ンカーに渡した後、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](#)

## 2.3. GCC でのライブラリーの作成

ライブラリーを作成する手順と、Linux オペレーティングシステムでライブラリーに使用される必要な概念について説明します。

### 2.3.1. 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」](#)

### 2.3.2. 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 の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している必要があります。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している必要があります。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。

### 2.3.3. 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) では以下が可能です。

- コードを再利用してリソースを予約する
- ライブラリーコードの更新を容易化にしてセキュリティを強化する

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。

- 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。

- 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。

- 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。

- 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.共有ライブラリー](#)

### 2.3.4. 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

- 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
```

## 2.4. MAKE でのさらなるコードの管理

GNU make コーティリティー (略称 **make**) は、ソースファイルからの実行可能ファイルの生成を管理するツールです。**make** は自動的に、複雑なプログラムのどの部分に変更されたかを判断し、再コンパイルする必要があります。**make** は、Makefiles と呼ばれる絵設定ファイルを使用して、プログラムを構築する方法を管理します。

### 2.4.1. 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。後で繰り返し実行できるように、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、この目的に合わせて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** で設定されます。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ルールを果たすターゲットで設定されます。

1つのファイル (**hello.c**) で設定される 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](#)
- [「GCC でのビルドコード」](#)

### 2.4.2. 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。

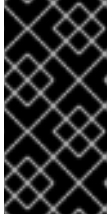
```
CC=gcc
CFLAGS=-c -Wall
SOURCE=hello.c
OBJ=$(SOURCE:.c=.o)
EXE=hello

all: $(SOURCE) $(EXE)

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

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

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



## 重要

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、実行可能ファイル **hello** が作成されます。

5. この実行可能ファイル **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 \(1つの手順でコンパイルとリンク\)」](#)
- [「例: GCC で C++ プログラムの構築 \(1つの手順でコンパイルとリンク\)」](#)

## 2.4.3. 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 提供の [GNU Make Manual](#)

## 2.5. 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ー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。

### 2.5.1. 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。
- メモリー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。代替名とタイプ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

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のサポート

アーキテクチャーおよびプロセッサ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。
- 64 ビット IBM Z アーキテクチャーの z13 および z14 プロセッサのサポートが追加されました。

#### 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](#)

## 2.5.2. RHEL 8 の GCC へのセキュリティー強化

以下では、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 の変更の詳細を紹介します。

### 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
<b>-Wstringop-truncation</b>	コピーした文字列を切り捨てるか、目的が変更しない <b>strncat</b> 、 <b>strncpy</b> 、 <b>stpncpy</b> などのバインドした文字列操作を読み出します。
<b>-Wclass-memaccess</b>	<b>memcpy</b> や <b>realloc</b> 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、 <b>const</b> 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。
<b>-Wmisleading-indentation</b>	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。
<b>-Walloc-size-larger-than=size</b>	割り当てるメモリーの量が <b>size</b> 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、 <b>alloc_size</b> 属性が付けられた関数とも連携します。
<b>-Walloc-zero</b>	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、 <b>alloc_size</b> 属性が付けられた関数とも連携します。
<b>-Walloca</b>	<b>alloca</b> 関数へのすべての読み出し。
<b>-Walloca-larger-than=size</b>	<b>size</b> 以上のメモリーが必要になると、 <b>alloca</b> 関数が呼び出されます。
<b>-Wvla-larger-than=size</b>	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。
<b>-Wformat-overflow=level</b>	形式化された出力関数の <b>sprintf</b> ファミリーへの呼び出しで、特定の好ましいバッファオーバーフロー。 <b>level</b> 値の詳細と説明は、 <b>man</b> ページの <b>gcc(1)</b> を参照してください。
<b>-Wformat-truncation=level</b>	形式化された出力関数の <b>snprintf</b> 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。 <b>level</b> 値の詳細と説明は、 <b>man</b> ページの <b>gcc(1)</b> を参照してください。
<b>-Wstringop-overflow=type</b>	<b>memcpy</b> や <b>strcpy</b> などの文字列処理関数への呼び出しのバッファオーバーフロー。 <b>level</b> 値の詳細と説明は、 <b>gcc(1)</b> <b>man</b> ページ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
<b>-fsanitize=float-divide-by-zero</b>	ゼロによる浮動小数点除算を検出します。
<b>-fsanitize=float-cast-overflow</b>	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。
<b>-fsanitize=bounds</b>	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。
<b>-fsanitize=alignment</b>	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。
<b>-fsanitize=object-size</b>	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。
<b>-fsanitize=vptr</b>	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。
<b>-fsanitize=bounds-strict</b>	配列境界の厳密なチェックを有効にします。これにより、 <b>-fsanitize=bounds</b> と、柔軟なメンバー状の配列の計測を有効にします。
<b>-fsanitize=signed-integer-overflow</b>	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。
<b>-fsanitize=builtin</b>	事前定義されたビルトインの <b>__builtin_clz</b> または <b>__builtin_ctz</b> への無効な引数をランタイム時に診断します。 <b>-fsanitize=undefined</b> からのチェックが含まれます。
<b>-fsanitize=pointer-overflow</b>	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。 <b>-fsanitize=undefined</b> 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
<b>-fsanitize=pointer-compare</b>	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。
<b>-fsanitize=pointer-subtract</b>	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。
<b>-fsanitize-address-use-after-scope</b>	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、**gcc(1) man** ページを参照してください。

```
$ man gcc
```

### 2.5.3. 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。

## 第3章 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。

### 3.1. 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。

#### 3.1.1. 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。



#### 重要

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](#)

#### 3.1.2. 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実行すると、元のソースコードと関連付けることが難しい実行可能コードが生成される場合があります。変数が最適化されたり、ループがアンロールされたり、操作が周囲の操作にマージされたりする可能性があります。これにより、デバッグに



負の影響が及ぶ可能性があります。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は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ることに留意してください。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

- [「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
```

### 3.1.3. 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の有効化」](#)

### 3.1.4. 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** および **debugsource** パッケージを提供するリポジトリを設定し、システムで有効にしている。詳細は、[デバッグおよびソースリポジトリの有効化](#) を参照してください。

#### 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り当てられた 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/lsc
Reading symbols from /bin/lsc...Reading symbols from .gnu_debugdata for /usr/bin/lsc...(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 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](#)

### 3.1.5. 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ります。
- **debuginfo** パッケージを提供するチャン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ため、どのパッケージがこのバイナリ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設定されていません。
- 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

- ナレッジベース記事 [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](#)

## 3.2. 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) を使用方法を説明します。

### 3.2.1. 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イスを使用して、プログラム内で何が起きているかを調べることができます。

#### 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** ユーティリティを使用するリモートマシンまたはコンテナ内のプログラム

#### 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。

### 3.2.2. 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](#)

### 3.2.3. 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、ステップを実行します。プログラマーは通常、初期ステップ

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、実行が継続されます。

### 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 - Starting your Program](#)
- [GDB を使用したデバッグ - Continuing and Stepping](#)

## 3.2.4. 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、内部変数の検査に使用できる複数のコマンドを提供します。これらのコマンドの中で最も有用なものは次のとおりです。

## 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。引数には、プログラム変数やライブラリー関数の使用、テストするプログラムに定義する関数など、現在の言語で有効な式も指定できます。

**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、構造などの) 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。

使用できる項目をリスト表示するには、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 でのデバッグ: [Pretty Printing](#)

### 3.2.5. 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、コードの一部のみが検証されます。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せん。

```
(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。実行を停止するために追加の **条件** を指定するには、以下を実行します。

```
(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。 **file** と **line** は、上記と同様に、ファイル名および行数に置き換えます。

- 全ブレークポイントおよびウォッチポイントの状態を **検査** する場合は、以下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、以下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 - [Breakpoints, Watchpoints, and Catchpoints](#)

### 3.2.6. 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、特定のデータが変更されたり、アクセスされるまでプログラムを実行させることには利点があります。次の例は、最も一般的な使用例です。

#### 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 **アクセス** (読み込み) のためのウォッチポイントを **配置** するには、以下を実行します。

```
(gdb) rwatch expression
```

- **任意** のデータへのアクセス (読み取りおよび書き込みの両方) のためにウォッチポイントを **配置** するには、以下を実行します。

```
(gdb) awatch expression
```

- 全ウォッチポイントおよびブレイクポイントの状態を **検査** するには以下を実行します。

```
(gdb) info br
```

- ウォッチポイントを **削除** するには、以下を実行します。

```
(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 - [Setting Watchpoints](#)

### 3.2.7. 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、特別な留意点があります。

#### 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(続いている)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

続いているプロセス(**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。フォローしているプロセス(**follow-fork-mode**の値による)は通常通りにデバッグされ、他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、独立して操作し、検査する機能があります。GDBが検査したスレッドのみを停止させるには、**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リストを表示します。

### 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** でリスト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のリストです。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継続されます。

### 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](#)

## 3.3. アプリケーションの対話の記録

アプリケーションの実行可能コードは、オペレーティングシステムや共有ライブラリーのコードと対話します。この相互作用のアクティビティーログを記録すると、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。

### 3.3.1. 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** ツールでは主に、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) のロギングが可能になります。

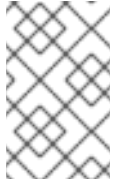
- **strace** がパラメーターを解釈し、下層のカーネルコードに関する知識が得られるため、**strace** ツールでは呼び出しに関する詳細な出力が得られます。数値は、定数名、フラグリストにデプロイメントされたビット単位の結合フラグ、実際の文字列を提供するために逆参照された文字配列へのポインターなどにそれぞれ変換されます。最新のカーネル機能のサポートがない場合があります。
- トレースされた呼び出しをフィルタリングして、取得するデータ量を減らすことができます。
- **strace** を使用するために、ログフィルターの設定以外に、特別な設定は必要ありません。
- **strace** でアプリケーションコードを追跡すると、アプリケーションの実行速度が大幅に遅くなるため、**strace** は、多くの実稼働環境のデプロイメントには適しません。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** ツールを使用すると、ライブラリーへの呼び出しを追跡できます。
- 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イスを追跡できます。
- **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イス宣言を確認する必要があります。



### 注記

Red Hat Enterprise Linux 8 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 システム上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有用なインストルメンテーション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** の使用と比較した場合、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多くの作業が必要になります。ただし、スクリプト機能は単にログを生成するだけでなく、SystemTap の有用性を高めます。
- SystemTap は、カーネルモジュールを作成し、挿入すると機能します。SystemTap は効率的に使用でき、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 には一連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

- [SystemTap の使用](#)
- [Red Hat Developer Toolset User Guide](#)

### 3.3.2. 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、プログラムの終了時に、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呼び出しのリストを分析します。
- リソースへのアクセスや可用性の問題は、エラーを返す呼び出しとしてログに表示されません。
  - 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

出力を確認することにも、ファイルに保存することにも利点があります。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
```

- ナレッジベースアトicle - [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 ユーザーガイドの [strace](#) の章

### 3.3.3. 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 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** でプログラムを起動した場合には、プログラムは **ltrace** と共に中断します。
  - 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** と共に終了します。
5. アプリケーションが実行したライブラリーコールのリストを分析します。
  - 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

出力を確認することにも、ファイルに保存することにも利点があります。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 ユーザーガイドの [ltrace](#) の章

### 3.3.4. 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. プロセスでシステム呼び出しが実行されると、呼び出し名とパラメーターがターミナルに出力されます。
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。

### 3.3.5. 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。様々なシステム呼び出しに対して複数のキャッチポイントを指定することができます。**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](#)

### 3.3.6. 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](#)

## 3.4. 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。

### 3.4.1. 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。コアダンプには、アプリケーションの内部変数、スタックすべてが含まれ、アプリケーションの最終的な状態を検査することができます。それぞれの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
```

### 3.4.2. 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** コ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
```

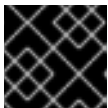
これにより、設定ファイルのコピーなど、システムに関する情報が含まれる **.tar** アーカイブが作成されます。

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リスト表示されます。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設定の systemd の概要](#)
- [ナレッジベースアティクル - 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](#)
- [ナレッジベースアティクル - Red Hat Enterprise Linux 4.6 上での sosreport のロールと取得方法](#)

### 3.4.3. 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

- 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リスト表示されます。

- モジュールがマッピングされているメモリーアドレス
- モジュールのビルド ID、およびメモリー内の場所
- 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。
- 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。
- 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可能ファイルを特定できます。

- クラッシュした実行可能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可能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。
- 実行可能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可能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。これらの実行可能ファイルのほとんどは、アプリケーションコードで使用されるライブラリーです。これらのライブラリーが分析中の問題の直接原因でない可能性があるため、ライブラリーの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査します。[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訳ではありません。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 でのデバッグ: 18.1 Commands to Specify Files](#)
- [GDB を使用したデバッグ - 18.3 Debugging Information in Separate Files](#)

### 3.4.4. 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。

```
$ systemctl 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。

### 3.4.5. 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

- コアダンプの概要および作成方法を理解している。
- GDB 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

- ナレッジベースアトキクル - [How to obtain a core file without restarting an application?](#)



### 3.4.6. GDB での保護されたプロセスメモリのダンプ

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ります。
- GDB 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](#)

## 3.5. 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3.1 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3.2 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=0x7ffffffce58) at ../src/echo.c:109
* 2.1 process 4106494 "echo" main (argc=1, argv=0x7ffffffce58) 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ものが報告されます。

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:** の接頭辞になり、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:** 接頭辞は、**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く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、応答しなくなってしまうようにします。

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** 設定が変更されました。**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。

## 3.6. コンテナ内のアプリケーションのデバッグ

トラブルシューティングのさまざまな側面に合わせてカスタマイズされたさまざまなコマンドラインツールを使用できます。以下に、一般的なコマンドラインツールとともにカテゴリを示します。



### 注記

これはコマンドラインツールの完全なリストではありません。コンテナアプリケーションをデバッグするためのツールの選択は、コンテナイメージとユースケースに大きく依存します。

たとえば、**systemctl**、**journalctl**、**ip**、**netstat**、**ping**、**traceroute**、**perf**、**iostat** ツールは、ネットワーク、systemd サービス、ハードウェアパフォーマンスカウンターなどのシステムレベルのリソースと対話するため、ルートアクセスが必要になる場合があります。これらのリソースは、セキュリティ上の理由から、ルートレスコンテナでは制限されています。

ルートレスコンテナは昇格された権限を必要とせずに動作し、ユーザー名前空間内で非ルートユーザーとして実行されるため、セキュリティが向上し、ホストシステムから分離されます。ホストとのやり取りが制限され、攻撃対象領域が縮小され、権限昇格の脆弱性のリスクが軽減されるため、セキュリティが強化されます。

ルートフルコンテナは、通常はルートユーザーとして昇格された権限で実行され、システムリソースと機能への完全なアクセス権が付与されます。ルートフルコンテナは柔軟性と制御性に優れていますが、権限昇格の可能性があります。ホストシステムが脆弱性にさらされる可能性があるため、セキュリティリスクが生じます。

ルートフルコンテナとルートレスコンテナの詳細は、[ルートレスコンテナの設定](#)、[ルートレスコンテナへのアップグレード](#)、および [ルートレスコンテナに関する特別な考慮事項](#) を参照してください。

### Systemd とプロセス管理ツール

#### systemctl

コンテナ内の systemd サービスを制御し、開始、停止、有効化、無効化の操作を可能にします。

#### journalctl

systemd サービスによって生成されたログを表示し、コンテナの問題のトラブルシューティングに役立ちます。

### ネットワークツール

#### ip

コンテナ内のネットワークインターフェイス、ルーティング、およびアドレスを管理します。

#### netstat

ネットワーク接続、ルーティングテーブル、およびインターフェイス統計を表示します。

#### ping

コンテナまたはホスト間のネットワーク接続を検証します。

#### traceroute

パケットが宛先に到達するまでのパスを識別します。ネットワークの問題の診断に役立ちます。

### プロセスとパフォーマンスツール

**ps**

コンテナ内で現在実行中のプロセスをリスト表示します。

**top**

コンテナ内のプロセスによるリソース使用状況に関するリアルタイムの分析情報を提供します。

**htop**

リソース使用率を監視するためのインタラクティブなプロセスビューアー。

**perf**

CPU パフォーマンスのプロファイリング、トレース、およびモニタリングにより、システムまたはアプリケーション内のパフォーマンスのボトルネックを正確に特定できます。

**vmstat**

コンテナ内の仮想メモリーの統計を報告し、パフォーマンス分析に役立ちます。

**iostat**

コンテナ内のブロックデバイスの入出力統計を監視します。

**gdb (GNU デバッガー)**

ユーザーが実行を追跡および制御し、変数を検査し、実行時にメモリーとレジスターを分析できるようにすることで、プログラムの調査とデバッグを支援するコマンドラインデバッガー。詳細は、[Red Hat OpenShift コンテナ内のアプリケーションのデバッグの](#) を参照してください。

**strace**

プログラムによって行われたシステムコールを傍受して記録し、プログラムとオペレーティングシステム間のやり取りを明らかにすることでトラブルシューティングに役立ちます。

**セキュリティとアクセス制御ツール****sudo**

昇格された権限でコマンドを実行できるようにします。

**chroot**

コマンドのルートディレクトリーを変更します。異なるルートディレクトリー内でのテストやトラブルシューティングに役立ちます。

**Podman 固有のツール****podman logs**

実行時に 1 つ以上のコンテナに存在するログをバッチで取得します。

**podman inspect**

名前または ID で識別されるコンテナとイメージの低レベル情報を表示します。

**podman events**

Podman で発生するイベントを監視して出力します。各イベントには、タイムスタンプ、タイプ、ステータス、名前 (該当する場合)、およびイメージ (該当する場合) が含まれます。デフォルトのロギングメカニズムは **journald** です。

**podman run --health-cmd**

ヘルスチェックを使用して、コンテナ内で実行されているプロセスの状態または準備ができているかどうかを判断できます。

**podman top**

コンテナの実行中のプロセスを表示します。

**podman exec**

実行中のコンテナ内でコマンドを実行したり、実行中のコンテナにアタッチしたりすることは、コンテナ内で何が起きているかをよりよく理解するのに非常に役立ちます。

### podman export

コンテナに障害が発生すると、何が起こったのかを知ることは基本的に不可能です。コンテナからファイルシステム構造をエクスポートすると、マウントされたボリュームに存在しない可能性のある他のログファイルを確認できるようになります。

### 関連情報

- [Red Hat OpenShift コンテナ内のアプリケーションのデバッグ](#)
  - **gdb**
- [クラッシュしたアプリケーションのデバッグ](#)
  - コアダンプ、**sosreport**、**gdb**、**ps**、**core**。
- [Kubernetes のトラブルシューティング](#)
  - Docker exec + env、**netstat**、**kubectrl**、**etcdctl**、**journalctl**、docker ログ
- [コンテナ化サービスに関するヒントとコツ](#)
  - ウォッチ、**podman logs**、**systemctl**、**podman exec/kill/restart**、**podman insect**、**podman top**、**podman exec**、**podman export**、**paunch**
- 外部リンク
  - [Docker コンテナをデバッグするための 10 のヒント](#)

## 第4章 開発用の追加ツールセット

### 4.1. GCC TOOLSET の使用

#### 4.1.1. 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。

#### 4.1.2. 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
```

#### 4.1.3. 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リストを表示し、**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リストを表示します。

```
$ 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リストに置き換えます。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
```

#### 4.1.4. 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*
```

#### 4.1.5. 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
```

#### 4.1.6. 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
```

#### 4.1.7. 関連情報

- [Red Hat Developer Toolset User Guide](#)

## 4.2. GCC TOOLSET 9

GCC Toolset バージョン 9 とこのバージョンに含まれるツールに固有の情報について説明します。

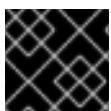
### 4.2.1. GCC Toolset 9 が提供するツールおよびバージョン

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4.1 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ー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	インストールメント化、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を監視するトレースおよびプロブのツール。
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ールメント化し、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チェックツール。

#### 4.2.2. 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。

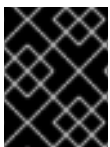
すべての言語規格は、規格に準拠したバリエーションまたは GNU 拡張機能の両方で利用できます。

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。

### 4.2.3. 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、若干の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。

#### 4.2.4. 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、若干の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。

## 4.3. GCC TOOLSET 10

GCC Toolset バージョン 10 とこのバージョンに含まれるツールに固有の情報について説明します。

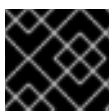
### 4.3.1. GCC Toolset 10 が提供するツールおよびバージョン

GCC Toolset 10 は、以下のツールおよびバージョンを提供します。

表4.2 GCC Toolset 10 のツールバージョン

名前	バージョン	説明
GCC	10.2.1	C、C++、および Fortran に対応するポータブルなコンパイラスイート。
GDB	9.2	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	3.16.0	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ー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	4.4	インストール化、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を監視するトレースおよびプロブのツール。
Dyninst	10.2.1	実行時にユーザー空間の実行ファイルをインストール化し、作業するためのライブラリー。
binutils	2.35	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	0.182	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	5.7	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	9.29	ビルドセキュリティチェックツール。

### 4.3.2. GCC Toolset 10 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 10 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 10 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 10 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 10 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

この言語の規格は、GCC Toolset 10 で利用できます。

### C++20

このような言語の規格は、GCC Toolset 10 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エーションまたは 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。

## 4.3.3. GCC Toolset 10 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、若干のセキュリティ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-10 '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-10 '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。

#### 4.3.4. GCC Toolset 10 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、若干の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-10 '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-10 '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。

## 4.4. GCC TOOLSET 11

GCC Toolset バージョン 11 とこのバージョンに含まれるツールに固有の情報について説明します。

### 4.4.1. GCC Toolset 11 が提供するツールおよびバージョン

GCC Toolset 11 は、以下のツールおよびバージョンを提供します。

表4.3 GCC Toolset 11 のツールバージョン

Name	バージョン	説明
GCC	11.2.1	C、C++、および Fortran に対応するポータブルなコンパイラスイート。
GDB	10.2	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	3.17.0	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	4.5	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を監視するトレースおよびプロブのツール。
Dyninst	11.0.0	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	2.36.1	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	0.185	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	0.14	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	4.3	依存関係を追跡するビルド自動化ツール
strace	5.13	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	10.23	ビルドセキュリティチェックツール。

#### 4.4.2. GCC Toolset 11 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 11 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

この言語の規格は、GCC Toolset 11 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 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 11 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 11 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

この言語の規格は、GCC Toolset 11 で利用できます。

これは、GCC Toolset 11 のデフォルトの言語標準設定で、GNU 拡張機能は、**-std=gnu++17** 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 10 以降を使用してビルドされている場合は、C++17 言語バージョンの使用に対応しています。

## C++20 および C++23

このような言語の規格は、GCC Toolset 11 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。

C++20 サポートを有効にするには、コマンドラインオプション **-std=c++20** を g++ コマンドラインに追加します。

C++23 サポートを有効にするには、コマンドラインオプション **-std=c++2b** を g++ コマンドラインに追加します。

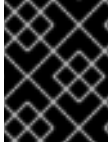
すべての言語規格は、規格に準拠したバリエーションまたは GNU 拡張機能の両方で利用できます。

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。

### 4.4.3. GCC Toolset 11 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、若干のセキュリティ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-11 '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。

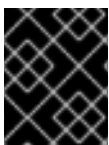
```
$ scl enable gcc-toolset-11 'gcc objfile.o -lsomelib'
```

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。

## 4.4.4. GCC Toolset 11 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、若干のセキュリティ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-11 '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-11 '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。

## 4.5. GCC TOOLSET 12

GCC Toolset バージョン 12 とこのバージョンに含まれるツールに固有の情報について説明します。

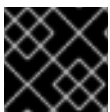
### 4.5.1. GCC Toolset 12 が提供するツールおよびバージョン

GCC Toolset 12 は、以下のツールおよびバージョンを提供します。

表4.4 GCC Toolset 12 のツールバージョン

Name	バージョン	説明
GCC	12.1.1	C、C++、および Fortran に対応するポータブルなコンパイラスイート。
GDB	11.2	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。
binutils	2.38	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。
dwz	0.14	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。
annobin	10.76	ビルドセキュリティチェックツール。

### 4.5.2. GCC Toolset 12 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 12 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

この言語の規格は、GCC Toolset 12 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 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 12 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 12 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

この言語の規格は、GCC Toolset 12 で利用できます。

これは、GCC Toolset 12 のデフォルトの言語標準設定で、GNU 拡張機能は、**-std=gnu++17** 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 10 以降を使用してビルドされている場合は、C++17 言語バージョンの使用に対応しています。

## C++20 および C++23

このような言語の規格は、GCC Toolset 12 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。

C++20 サポートを有効にするには、コマンドラインオプション **-std=c++20** を g++ コマンドラインに追加します。

C++23 サポートを有効にするには、コマンドラインオプション **-std=c++23** を g++ コマンドラインに追加します。

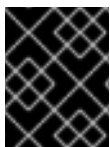
すべての言語規格は、規格に準拠したバリエーションまたは GNU 拡張機能の両方で利用できます。

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ず、

### 4.5.3. GCC Toolset 12 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、若干の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-12 '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-12 '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。

#### 4.5.4. GCC Toolset 12 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、若干の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-12 '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-12 '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。

#### 4.5.5. GCC Toolset 12 での annobin の詳細

場合によっては、GCC Toolset 12 における **annobin** と **gcc** 間の同期問題により、コンパイルが失敗し、次のようなエラーメッセージが表示されることがあります。

```
cc1: fatal error: inaccessible plugin file
opt/rh/gcc-toolset-12/root/usr/lib/gcc/architecture-linux-gnu/12/plugin/gcc-annobin.so
expanded from short plugin name gcc-annobin: No such file or directory
```

この問題を回避するには、プラグインディレクトリーに **annobin.so** ファイルから **gcc-annobin.so** ファイルへのシンボリックリンクを作成します。

```
# cd /opt/rh/gcc-toolset-12/root/usr/lib/gcc/architecture-linux-gnu/12/plugin
# ln -s annobin.so gcc-annobin.so
```

**architecture** はシステムでお使いのアーキテクチャーに置き換えてください。

- **aarch64**
- **i686**
- **ppc64le**
- **s390x**
- **x86\_64**

## 4.6. GCC TOOLSET 13

GCC Toolset バージョン 13 とこのバージョンに含まれるツールに固有の情報について説明します。

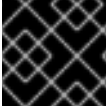
### 4.6.1. GCC Toolset 13 が提供するツールおよびバージョン

GCC Toolset 13 は、以下のツールおよびバージョンを提供します。

表4.5 GCC Toolset 13 のツールバージョン

Name	バージョン	説明
GCC	13.1.1	C、C++、および Fortran に対応するポータブルなコンパイラスイート。
GDB	12.1	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。
binutils	2.40	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。
dwz	0.14	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。
annobin	12.20	ビルドセキュリティチェックツール。

### 4.6.2. GCC Toolset 13 の C++ 互換性



## 重要

ここで示されている互換性情報は、GCC Toolset 13 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

この言語の規格は、GCC Toolset 13 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 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 13 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 13 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

この言語の規格は、GCC Toolset 13 で利用できます。

これは、GCC Toolset 13 のデフォルトの言語規格設定で、GNU 拡張機能は、**-std=gnu++17** 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 10 以降を使用してビルドされている場合は、C++17 言語バージョンの使用に対応しています。

### C++20 および C++23

このような言語の規格は、GCC Toolset 13 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。

C++20 規格を有効にするには、コマンドラインオプション **-std=c++20** を g++ コマンドラインに追加します。

C++23 規格を有効にするには、コマンドラインオプション **-std=c++23** を g++ コマンドラインに追加します。

すべての言語規格は、規格に準拠したバリエーションまたは 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。

## 4.6.3. GCC Toolset 13 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、若干の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-13 '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-13 '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。

#### 4.6.4. GCC Toolset 13 の 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、若干の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-13 '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-13 '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。

#### 4.6.5. GCC Toolset 13 の **annobin** の詳細

状況によっては、GCC Toolset 13 の **annobin** と **gcc** 間の同期の問題が原因で、コンパイルが失敗し、次のようなエラーメッセージが表示されることがあります。

```
cc1: fatal error: inaccessible plugin file
opt/rh/gcc-toolset-13/root/usr/lib/gcc/architecture-linux-gnu/13/plugin/gcc-annobin.so
expanded from short plugin name gcc-annobin: No such file or directory
```

この問題を回避するには、プラグインディレクトリーに **annobin.so** ファイルから **gcc-annobin.so** ファイルへのシンボリックリンクを作成します。

```
# cd /opt/rh/gcc-toolset-13/root/usr/lib/gcc/architecture-linux-gnu/13/plugin
# ln -s annobin.so gcc-annobin.so
```

**architecture** はシステムでお使いのアーキテクチャーに置き換えてください。

- **aarch64**
- **i686**
- **ppc64le**
- **s390x**
- **x86\_64**

## 4.7. GCC TOOLSET コンテナイメージの使用

GCC Toolset 13 コンテナイメージ **のみ** がサポートされています。以前のバージョンの GCC Toolset コンテナイメージが非推奨になりました。

GCC Toolset 13 コンポーネントは、**GCC Toolset 13 Toolchain** コンテナイメージで利用できます。

GCC Toolset コンテナイメージは **rhel8** ベースイメージに基づいており、RHEL 8 でサポートされるすべてのアーキテクチャーで使用できます。

- 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)
- 64 ビット IBM Z

### 4.7.1. GCC Toolset コンテナイメージの内容

GCC Toolset 13 コンテナイメージで提供されるツールバージョンは、[GCC Toolset 13 のコンポーネントバージョン](#)と同じです。

#### GCC Toolset 13 Toolchain のコンテンツ

`rhel8/gcc-toolset-13-toolchain` イメージには、GCC コンパイラー、GDB デバッガー、その他の開発関連ツールが含まれます。コンテナイメージは、以下のコンポーネントで設定されています。

コンポーネント	パッケージ
<code>gcc</code>	<code>gcc-toolset-13-gcc</code>
<code>g++</code>	<code>gcc-toolset-13-gcc-c++</code>
<code>gfortran</code>	<code>gcc-toolset-13-gcc-gfortran</code>
<code>gdb</code>	<code>gcc-toolset-13-gdb</code>

### 4.7.2. GCC Toolset コンテナ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 コンテナ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認証情報を使用して [Red Hat コンテナレジストリー](#) 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、必要なコンテナイメージをプルします。

```
# podman pull registry.redhat.io/rhel8/gcc-toolset-13-toolchain
```



#### 注記

RHEL 8.1 以降のバージョンでは、`root` 以外のユーザーで、コンテナを使用するようにシステムを設定できます。詳細は、[ルートレスコンテナのセットアップ](#)を参照してください。

3. オプション: ローカルシステム上のコンテナイメージをすべてリスト表示するコマンドを実行して、プルが成功したことを確認します。

```
# podman images
```

4. コンテナで bash シェルを起動して、コンテナを実行します。

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

**-i** オプションは対話式のセッションを作成します。このオプションを指定しないと、シェルが開き、即座に終了します。

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

## 関連情報

- [RHEL 8 での Linux コンテナの構築、実行、および管理](#)
- Red Hat ブログ記事:[Understanding root in a container](#)
- Red Hat コンテナレジストリーのエントリー: [GCC Toolset コンテナイメージ](#)

### 4.7.3. 例: GCC Toolset 13 Toolchain コンテナイメージの使用

この例では、GCC Toolset 13 Toolchain コンテナイメージを取得して使用を開始する方法を示します。

#### 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認証情報を使用して Red Hat コンテナレジストリーにアクセスします。

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

2. root でコンテナイメージをプルします。

```
# podman pull registry.redhat.io/rhel8/gcc-toolset-13-toolchain
```

3. root で対話式シェルを使用してコンテナイメージを起動します。

```
# podman run -it registry.redhat.io/rhel8/gcc-toolset-13-toolchain /bin/bash
```

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

```
bash-4.4$ gcc -v
...
gcc version 13.1.1 20231102 (Red Hat 13.1.1-4) (GCC)
```

5. コンテナで提供されるパッケージのリストを表示するには、以下を実行します。

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

## 4.8. コンパイラーツールセット

RHEL 8 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 ツールは、LLVM コンパイラ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、LLDB デバッガー、コード解析の関連ツールを提供します。
- Rust Toolset は、Rust プログラミング言語コンパイラ **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。
- Go Toolset 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。

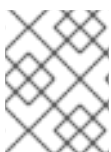
使用方法の詳細と情報については、[Red Hat DeveloperTools](#) ページのコンパイラーツールセットのユーザーガイドを参照してください。

## 4.9. 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 仕様プロジェクトは、マーカを Executable and Linkable Format (ELF) オブジェクトに追加してそのプロパティーを判断するためのものです。Annobin プロジェクトは、**annobin** プラグインと **annocheck** プログラムで設定されます。

**annobin** プラグインは、GNU コンパイラコレクション (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 ノートでは、バイナリーの構築方法を記録し、セキュリティ強化チェックを実行する **annocheck** プログラムの情報を得ることができます。

セキュリティ強化チェッカーは **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強化オプションでプログラムが構築されていて、正しくコンパイルされているかを判断します。**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 形式である必要があります。**annocheck** は、他のバイナリーファイルタイプの処理に対応していません。

次のセクションでは、以下を行う方法を説明します。

- **annobin** プラグインの使用
- **annocheck** プログラムの使用
- 冗長な **annobin** ノートの削除

### 4.9.1. annobin プラグインの使用

次のセクションでは、以下を行う方法を説明します。

- **annobin** プラグインの有効化

- **annobin** プラグインにオプションを渡します。

#### 4.9.1.1. annobin プラグインの有効化

次のセクションでは、**gcc** および **clang** を使用して **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** で **annobin** プラグインが見つることができない場合は、以下を使用します。

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

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

#### 4.9.1.2. annobin プラグインへのオプションの指定

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

##### 手順

- **gcc** を使用して **annobin** プラグインにオプションを渡すには、以下を使用します。

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

`option` は **annobin** コマンドライン引数に、`file-name` はファイル名に置き換えます。

##### 例

- 実行する **annobin** に関する追加情報を表示するには、以下を使用します。

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

`file-name` は、ファイルの名前に置き換えます。

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

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

`option` は **annobin** コマンドライン引数に、`/path/to/directory/containing/annobin/` は、**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

- 実行する **annobin** に関する追加情報を表示するには、以下を使用します。

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

`file-name` は、ファイルの名前に置き換えます。

### 4.9.2. annoscheck プログラムの使用

次のセクションでは、**annoscheck** 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
- **annoscheck** の追加ツール



#### 注記

**annoscheck** 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します。ファイルは ELF 形式である必要があります。**annoscheck** は、他のバイナリーファイルタイプの処理に対応していません。

#### 4.9.2.1. annoscheck を使用したファイルの検証

次のセクションでは、**annoscheck** を使用して ELF ファイルを検証する方法を説明します。

#### 手順

- ファイルを検証するには、以下を使用します。

```
$ annoscheck file-name
```

`file-name` は、ファイル名に置き換えます。



#### 注記

ファイルは ELF 形式である必要があります。**annoscheck** は、他のバイナリーファイルタイプの処理に対応していません。**annoscheck** は、ELF オブジェクトファイルなどの静的ライブラリーを処理します。

#### 関連情報

- **annockeck** および使用可能なコマンドラインオプションに関する情報は、**annockeck** の man ページを参照してください。

#### 4.9.2.2. annockeck を使用したディレクトリーの検証

次のセクションでは、**annockeck** を使用してディレクトリー内の ELF ファイルを検証す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。

```
$ annockeck directory-name
```

**directory-name** は、ディレクトリー名に置き換えます。**annockeck** は、ディレクトリー、ディレクトリー内のサブディレクトリー、アーカイブおよび RPM パッケージの内容を自動的に検査します。



##### 注記

**annockeck** 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せん。

##### 関連情報

- **annockeck** および使用可能なコマンドラインオプションに関する情報は、**annockeck** の man ページを参照してください。

#### 4.9.2.3. annockeck を使用した RPM パッケージの検証

次のセクションでは、**annockeck** を使用して RPM パッケージの ELF ファイルを検証す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、以下を使用します。

```
$ annockeck rpm-package-name
```

**rpm-package-name** は、RPM パッケージ名に置き換えます。**annockeck** 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

**annockeck** 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せん。

- debug info RPM が含まれる RPM パッケージをスキャンするには、以下を使用します。

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

**rpm-package-name** は RPM パッケージの名前に、**debuginfo-rpm** はバイナリー RPM に関連付けられた debug info RPM の名前に置き換えます。

## 関連情報

- **annockeck** および使用可能なコマンドラインオプションに関する情報は、**annockeck** の man ページを参照してください。

### 4.9.2.4. annockeck の追加ツールの使用

**annockeck** には、バイナリーファイルを検証する複数のツールが含まれます。コマンドラインオプションを使用してこれらのツールを有効にできます。

次のセクションでは、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。

#### 4.9.2.4.1. built-by ツールの有効化

**annockeck built-by** ツールを使用して、バイナリーファイルを構築したコンパイラーの名前を検索できます。

#### 手順

- **built-by** ツールを有効にするには以下を使用します。

```
$ annockeck --enable-built-by
```

## 関連情報

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

#### 4.9.2.4.2. notes ツールの有効化

**annockeck notes** ツールを使用して、**annobin** プラグインが作成したバイナリーファイルに保存されたノートを表示できます。

#### 手順

- **notes** ツールを有効にするには、以下を使用します。

```
$ annockeck --enable-notes
```

このノートは、アドレス範囲順に表示されます。

## 関連情報



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

#### 4.9.2.4.3. section-size ツールの有効化

**annockeck 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、以下を使用します。

```
$ annockeck --section-size=name
```

**name** は、名前付き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限定されます。累積結果は、最後に生成されます。

##### 関連情報

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

#### 4.9.2.4.4. 強化チェッカーの基本

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

##### 4.9.2.4.4.1. 強化チェッカーのオプション

**annockeck** プログラムは、以下のオプションをチェックします。

- **-z now** リンカーオプションを使用して遅延結合が無効になる。
- プログラムのメモリーの実行可能なリージョン内にスタックがない。
- GOT テーブルの再配置が読み取り専用設定されている。
- プログラムセグメントには、読み取り、書き込み、および実行権限ビットセットの3つすべてがある。
- 実行コードに対する再配置がない。
- ランタイム時に共有ライブラリーを見つけるための `runpath` 情報には、`/usr` にルート指定されたディレクトリーのみが含まれている。
- プログラムが **annobin** ノートの有効にしてコンパイルされている。
- プログラムが **-fstack-protector-strong** オプションを有効にしてコンパイルされている。
- プログラムが **-D\_FORTIFY\_SOURCE=2** でコンパイルされている。
- プログラムが **-D\_GLIBCXX\_ASSERTIONS** でコンパイルされている。
- プログラムが **-fexceptions** を有効にしてコンパイルされている。
- プログラムが **-fstack-clash-protection** を有効にしてコンパイルされている。
- プログラムが **-O2** 以降でコンパイルされている。

- プログラムには書き込み可能な再配置がない。
- 動的実行可能ファイルには動的セグメントがある。
- 共有ライブラリーが **-fPIC** または **-fPIE** でコンパイルされている。
- 動的実行可能ファイルは **-fPIE** でコンパイルされ、**-pie** でリンクされている。
- 利用可能な場合は、**-fcf-protection=full** オプションが使用されている。
- 利用可能な場合は、**-mbranch-protection** オプションが使用されている。
- 利用可能な場合は、**-mstackrealign** オプションが使用されている。

#### 4.9.2.4.4.2. 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

- 強化チェッカーがないファイルで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** は、ファイルの名前に置き換えます。

#### 4.9.3. 冗長する annobin ノートの削除

**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。冗長する **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** は、ファイルの名前に置き換えます。

#### 4.9.4. GCC Toolset 12 での annobin の詳細

場合によっては、GCC Toolset 12 における **annobin** と **gcc** 間の同期問題により、コンパイルが失敗し、次のようなエラーメッセージが表示されることがあります。

```
cc1: fatal error: inaccessible plugin file
opt/rh/gcc-toolset-12/root/usr/lib/gcc/architecture-linux-gnu/12/plugin/gcc-annobin.so
expanded from short plugin name gcc-annobin: No such file or directory
```

この問題を回避するには、プラグインディレクトリーに **annobin.so** ファイルから **gcc-annobin.so** ファイルへのシンボリックリンクを作成します。

```
# cd /opt/rh/gcc-toolset-12/root/usr/lib/gcc/architecture-linux-gnu/12/plugin
# ln -s annobin.so gcc-annobin.so
```

architecture はシステムでお使いのアーキテクチャーに置き換えてください。

- aarch64
- i686
- ppc64le
- s390x
- x86\_64

## 第5章 補足

### 5.1. 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 インターフェイスおよび NIS インターフェイスが **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 のインターフェイスを提供しなくなりました。このインターフェイスは、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 **nosegseg** 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 (**nosegseg**) 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

BSD **makefile** との互換性を高める **\$(shell ...)** 関数の代わりに、シェル代入演算子 **!=** が GNU **make** 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 がいないため、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。

## 5.2. 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、出発点にしかありません。

[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する情報が記載されています。