# Red Hat Enterprise Linux 9

## カーネルの管理、監視、および更新

Red Hat Enterprise Linux 9 上で Linux カーネルを管理するためのガイド

Last Updated: 2024-06-26

# Red Hat Enterprise Linux 9 カーネルの管理、監視、および更新

Red Hat Enterprise Linux 9 上で Linux カーネルを管理するためのガイド

## 法律上の通知



## 概要

システム管理者は、オペレーティングシステムを最適化するように Linux カーネルを設定できます。Linux カーネルを変更すると、システムのパフォーマンス、セキュリティー、および安定性が向上するだけでなく、システムを監査して問題をトラブルシューティングする能力も向上します。

# 目次

# 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ご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 LINUX カーネル

Linux カーネルと、Red Hat が提供および管理する Linux カーネル RPM パッケージ (Red Hat カーネル) について学びます。Red Hat カーネルを最新の状態に保ちます。これにより、オペレーティングシステムに最新のバグ修正、パフォーマンス強化、およびパッチがすべて適用され、新しいハードウェアとの互換性が保たれます。

## 1.1. カーネルとは

カーネルは Linux オペレーティングシステムのコア部分で、システムリソースを管理し、ハードウェアアプリケーションおよびソフトウェアアプリケーション間のインターフェイスを確立します。

Red Hat カーネルは、アップストリームの Linux メインラインカーネルをベースにしたカスタムカーネルです。Red Hat のエンジニアは、安定性と、最新のテクノロジーおよびハードウェアとの互換性に重点を置き、さらなる開発と強化を行っています。

Red Hat が新しいカーネルバージョンをリリースする前に、カーネルは厳格な品質保証テストをクリアしなければなりません。

Red Hat カーネルは RPM 形式でパッケージ化されているため、**DNF** パッケージマネージャーにより簡単にアップグレードおよび検証できます。

**警告**

Red Hat によってコンパイルされていないカーネルは、Red Hat ではサポートされ**ていません**。

## 1.2. RPM パッケージ

RPM パッケージは、ファイルのアーカイブと、これらのファイルのインストールと消去に使用されるメタデータで構成されます。具体的には、RPM パッケージには次の要素が含まれています。

**GPG 署名**

GPG 署名は、パッケージの整合性を検証するために使用されます。

**RPM ヘッダー (パッケージのメタデータ)**

RPM パッケージマネージャーは、このメタデータを使用して、パッケージの依存関係、ファイルのインストール先、その他の情報を確認します。

**ペイロード**

ペイロードは、システムにインストールするファイルを含む **cpio** アーカイブです。

RPM パッケージには 2 つの種類があります。いずれも、同じファイル形式とツールを使用しますが、コンテンツが異なるため、目的が異なります。

- ソース RPM (SRPM)
  SRPM には、ソースコードと、ソースコードをバイナリー RPM にビルドする方法を記述した **spec** ファイルが含まれています。必要に応じて、SRPM にはソースコードへのパッチを含めることができます。

**バイナリー RPM**

バイナリー RPM には、ソースおよびパッチから構築されたバイナリーが含まれます。

## 1.3. LINUX カーネル RPM パッケージの概要

**カーネル** RPM は、ファイルを含まないメタパッケージで、以下の必須サブパッケージが正しくインストールされるようにします。

**kernel-core**

Linux カーネル (**vmlinuz**) のバイナリーイメージが含まれています。

**kernel-modules-core**

コア機能を実現するための基本的なカーネルモジュールが含まれています。これには、最も一般的に使用されるハードウェアが適切に機能するために不可欠なモジュールが含まれます。

**kernel-modules**

**kernel-core** に存在しない残りのカーネルモジュールが含まれます。

**kernel-core** サブパッケージと **kernel-modules-core** サブパッケージを一緒に仮想化環境とクラウド環境で使用すると、RHEL 9 カーネルのブート時間を短縮し、ディスクサイズを抑えることができます。通常、このようなデプロイメントには **kernel-modules** サブパッケージは不要です。

任意のカーネルパッケージは、以下の例のようになります。

**kernel-modules-extra**

まれなハードウェア用のカーネルモジュールと、読み込みがデフォルトで無効になっているモジュールが含まれます。

**kernel-debug**

カーネル診断ができるように複数のデバッグオプションが有効になっているカーネルが含まれます。デバッグオプションが有効になっているとパフォーマンスが低下します。

**kernel-tools**

Linux カーネル操作のツールとサポートドキュメントが含まれています。

**kernel-devel**

**kernel** パッケージに対して、モジュールをビルドするのに十分なカーネルヘッダーと makefiles を含んでいます。

**kernel-abi-stablelists**

RHEL カーネル ABI に関連する情報が含まれています。これには、強化を支援するための外部 Linux カーネルモジュールおよび **dnf** プラグインで必要なカーネルシンボルのリストが含まれます。

**kernel-headers**

Linux カーネルと、ユーザー空間ライブラリーおよびプログラムとの間のインターフェイスを指定する C ヘッダーファイルが含まれます。ヘッダーファイルは、ほとんどの標準プログラムを構築するのに必要な構造と定数を定義します。

**kernel-uki-virt**

RHEL カーネルの統合カーネルイメージ (UKI) が含まれています。
UKI は、Linux カーネル、**initramfs**、およびカーネルコマンドラインを単一の署名付きバイナリーに結合し、UEFI ファームウェアから直接起動できるようにします。

**kernel-uki-virt** には、仮想環境およびクラウド環境で実行するために必要なカーネルモジュールが含まれており、**kernel-core** サブパッケージの代わりに使用できます。

**重要**

**kernel-uki-virt** は、RHEL 9.2 のテクノロジープレビュー機能として提供されます。

**関連情報**

- kernel-core パッケージ、kernel-modules パッケージ、および kernel-modules-extras パッケージは何ですか？

## 1.4. カーネルパッケージの内容の表示

カーネルパッケージがモジュールなどの特定のファイルを提供しているかどうかを判断するには、リポジトリーにクエリーを実行して、アーキテクチャーのパッケージのファイルリストを表示します。ファイルリストを表示するためにパッケージをダウンロードまたはインストールする必要はありません。

**dnf** ユーティリティーを使用して、たとえば **kernel-core**、**kernel-modules-core**、または **kernel-modules** パッケージのファイルリストをクエリーします。**kernel** パッケージはファイルを含まないメタパッケージであることに注意してください。

**手順**

1. パッケージの利用可能なバージョンをリスト表示します。

```
$ dnf repoquery <package_name>
```

たとえば、**kernel-core** パッケージの利用可能なバージョンをリスト表示します。

```
$ dnf repoquery kernel-core
kernel-core-0:5.14.0-162.12.1.el9_1.x86_64
kernel-core-0:5.14.0-162.18.1.el9_1.x86_64
kernel-core-0:5.14.0-162.22.2.el9_1.x86_64
kernel-core-0:5.14.0-162.23.1.el9_1.x86_64
...
```

2. パッケージ内のファイルをリスト表示します。

```
$ dnf repoquery -l <package_name>
```

たとえば、**kernel-core-0:5.14.0-162.23.1.el9_1.x86_64** パッケージ内のファイルをリスト表示します。

```
$ dnf repoquery -l kernel-core-0:5.14.0-162.23.1.el9_1.x86_64
/boot/System.map-5.14.0-162.23.1.el9_1.x86_64
/boot/config-5.14.0-162.23.1.el9_1.x86_64
/boot/initramfs-5.14.0-162.23.1.el9_1.x86_64.img
/boot/symvers-5.14.0-162.23.1.el9_1.x86_64.gz
/boot/vmlinuz-5.14.0-162.23.1.el9_1.x86_64
/lib/modules
/lib/modules/5.14.0-162.23.1.el9_1.x86_64
/lib/modules/5.14.0-162.23.1.el9_1.x86_64/.vmlinuz.hmac
/lib/modules/5.14.0-162.23.1.el9_1.x86_64/System.map
...
```

**関連情報**

- ソフトウェアのパッケージ化および配布

## 1.5. 特定のカーネルバージョンのインストール

**dnf** パッケージマネージャーを使用して新しいカーネルをインストールします。

**手順**

- 特定のカーネルバージョンをインストールするには、次のコマンドを実行します。

```
# dnf install kernel-{version}
```

**関連情報**

- Red Hat Code Browser
- Red Hat Enterprise Linux Release Dates

## 1.6. カーネルの更新

**dnf** パッケージマネージャーを使用してカーネルを更新します。

**手順**

1. カーネルを更新するには、次のコマンドを入力します。

```
# dnf update kernel
```

このコマンドは、カーネルと、利用可能な最新バージョンへのすべての依存関係を更新します。

2. システムを再起動して、変更を有効にします。

**関連情報**

- パッケージマネージャー
- **dnf(8)** man ページ

## 1.7. カーネルのデフォルトとしての設定

**grubby** コマンドラインツールと GRUB を使用して、特定のカーネルをデフォルトとして設定します。

**手順**

- **grubby** ツールを使用した、カーネルのデフォルトとしての設定
  - 以下のコマンドを実行し、**grubby** ツールを使用してカーネルをデフォルトとして設定します。

```
# grubby --set-default $kernel_path
```

コマンドは、**.conf** の接尾辞のないマシン ID を引数として使用します。

**注記**

マシン ID は **/boot/loader/entries/** ディレクトリーにあります。

- **id** 引数を使用したカーネルのデフォルト設定
  - **id** 引数を使用してブートエントリーのリストを表示し、任意のカーネルをデフォルトとして設定します。

```
# grubby --info ALL | grep id
# grubby --set-default /boot/vmlinuz-<version>.<architecture>
```

**注記**

**title** 引数を使用してブートエントリーのリストを表示するには、**# grubby --info=ALL | grep title** コマンドを実行します。

- 次回の起動時のみのデフォルトカーネルの設定
  - 次のコマンドを実行し、**grub2-reboot** コマンドを使用して、次回の再起動限定でデフォルトのカーネルを設定します。

```
# grub2-reboot <index|title|id>
```

**警告**

取り扱いに注意して、次回の起動時限定のデフォルトのカーネルを設定します。新しいカーネル RPM、自己ビルドカーネルをインストールし、エントリーを **/boot/loader/entries/** ディレクトリーに手動で追加すると、インデックス値が変更される可能性があります。

# 第2章 64K ページサイズのカーネル

**kernel-64k** は、64k ページをサポートする、追加のオプションの 64 ビット ARM アーキテクチャーカーネルパッケージです。この追加カーネルは、4k ページをサポートする ARM カーネル用の RHEL 9 と並んで存在します。

最適なシステムパフォーマンスは、さまざまなメモリー設定要件と直接関係しています。このような要件に、それぞれ異なるワークロードに適した 2 つのカーネルバリアントによって対応しています。したがって、64 ビット ARM ハードウェア上の RHEL 9 では、次の 2 つの MMU ページサイズを提供しています。

- 小規模な環境でメモリーを効率的に使用するための 4k ページカーネル
- 大規模な連続したメモリーワーキングセットを使用するワークロード向けの **kernel-64k**

ユーザー空間が同じであるため、4k ページカーネルと **kernel-64k** のユーザーエクスペリエンスに違いはありません。状況に合わせて最適なバリアントを選択できます。

**4K ページカーネル**

エッジや低コストの小規模なクラウドインスタンスなどの小規模な環境でメモリーをより効率的に使用するには、4k ページを使用します。このような環境では、スペース、電力、コストの制約により、物理システムメモリー量を増やすことは現実的ではありません。また、すべての 64 ビット ARM アーキテクチャープロセッサーが 64k ページサイズをサポートしているわけではありません。4k ページカーネルは、Anaconda を使用したグラフィカルインストール、システムまたはクラウドイメージベースのインストール、およびキックスタートを使用した高度なインストールをサポートしています。

**kernel-64k**

64k ページサイズのカーネルは、ARM プラットフォーム上の大規模なデータセットに便利なオプションです。**kernel-64k** は、システム全体のパフォーマンス、つまり大規模データベース、HPC、およびネットワークパフォーマンスに大きな利益をもたらすため、メモリーを大量に使用するワークロードに適しています。
64 ビット ARM アーキテクチャーシステムでは、インストール時にページサイズを選択する必要があります。**kernel-64k** パッケージを **Kickstart** ファイルのパッケージリストに追加すると、Kickstart のみで **kernel-64k** をインストールできます。

**関連情報**

- Kernel-64k を使用した ARM への RHEL のインストール

# 第3章 カーネルモジュールの管理

カーネルモジュール、それらの情報を表示する方法、およびカーネルモジュールを使用して基本的な管理タスクを実行する方法について学びます。

## 3.1. モジュールの紹介

Red Hat Enterprise Linux カーネルは、システムを再起動しなくても、カーネルモジュールと呼ばれる追加機能で拡張できます。Red Hat Enterprise Linux 9 では、カーネルモジュールは追加のカーネルコードで、圧縮された **<KERNEL_MODULE_NAME>.ko.xz** オブジェクトファイルに組み込まれています。

カーネルモジュールにより有効になっている最も一般的な機能は、以下のとおりです。

- 新しいハードウェアへのサポートを強化するデバイスドライバー
- GFS2 や NFS などのファイルシステムのサポート
- システムコール

最新のシステムでは、必要に応じて自動的にカーネルモジュールが読み込まれます。ただし、場合によっては、モジュールを手動でロードまたはアンロードする必要があります。

モジュールは、カーネル自体と同様に、必要に応じてその動作をカスタマイズするパラメーターを受けることができます。

ツールでは、現在実行しているモジュール、カーネルに読み込みできるモジュール、モジュールが受け入れるパラメーターを調べることができます。このツールは、実行中のカーネルに、カーネルモジュールのロードおよびアンロードを行うためのメカニズムを提供します。

## 3.2. カーネルモジュールの依存関係

特定のカーネルモジュールは、複数の他のカーネルモジュールに依存する場合があります。**/lib/modules/<KERNEL_VERSION>/modules.dep** ファイルには、各カーネルバージョンに対するカーネルモジュールの依存関係の完全なリストが含まれます。

**depmod**

依存関係ファイルは、**kmod** パッケージの一部である **depmod** プログラムにより生成されます。**kmod** によるユーティリティーの多くは、操作を実行する際にモジュールの依存関係を考慮に入れるため、**手動** で依存関係を追跡する必要はほとんどありません。

**警告**

カーネルモジュールのコードは、制限のないモードのカーネルスペースで実行されます。そのため、読み込むモジュールに注意してください。

**weak-modules**

**depmod** に加えて、Red Hat Enterprise Linux は、同じく **kmod** パッケージに同梱されている **weak-**

**modules** スクリプトを提供します。**weak-modules** は、どのモジュールがインストールされたカーネルと kABI 互換であるかを決定します。モジュールカーネルの互換性をチェックしている間、**weak-modules** はモジュールシンボルの依存関係を、それらがビルドされたカーネルの上位リリースから下位リリースへと処理します。これは、**weak-modules** がビルド対象のカーネルリリースとは無関係に各モジュールを処理することを意味します。

**関連情報**

- **modules.dep (5)** man ページ
- **depmod (8)** man ページ
- Red Hat Enterprise Linux に同梱されている weak-modules スクリプトの目的は何ですか?
- カーネルアプリケーションバイナリーインターフェイス (kABI) とは何ですか?

## 3.3. インストール済みカーネルモジュールのリスト表示

**grubby --info=ALL** コマンドは、**!BLS** インストールおよび **BLS** インストールにインストールされたカーネルのインデックスリストを表示します。

**手順**

- 以下のコマンドを使用して、インストールされているカーネルをリスト表示します。

```
# grubby --info=ALL | grep title
```

インストールされているカーネルのリストは、以下のようになります。

```
title="Red Hat Enterprise Linux (5.14.0-1.el9.x86_64) 9.0 (Plow)"
title="Red Hat Enterprise Linux (0-rescue-0d772916a9724907a5d1350bcd39ac92) 9.0
(Plow)"
```

上記の例では、GRUB メニューから grubby-8.40-17 のインストール済みカーネルの一覧を表示します。

## 3.4. 現在読み込み済みカーネルモジュールのリスト表示

現在ロードされているカーネルモジュールを表示します。

**前提条件**

- **kmod** パッケージがインストールされている。

**手順**

- 現在読み込み済みのカーネルモジュールの一覧を表示するには、以下のコマンドを実行します。

```
$ lsmod

Module                  Size  Used by
fuse                  126976  3
```

```
uinput                 20480  1
xt_CHECKSUM            16384  1
ipt_MASQUERADE         16384  1
xt_conntrack           16384  1
ipt_REJECT             16384  1
nft_counter            16384  16
nf_nat_tftp            16384  0
nf_conntrack_tftp      16384  1 nf_nat_tftp
tun                    49152  1
bridge                 192512  0
stp                    16384  1 bridge
llc                    16384  2 bridge,stp
nf_tables_set          32768  5
nft_fib_inet           16384  1
…
```

上記の例では、以下のようになります。

a. **Module** 列は、現在読み込まれているモジュールの **名前** を示します。

b. **Size** 列は、モジュールごとの **メモリー** 容量をキロバイト単位で表示します。

c. **Used by** 列には、特定のモジュールに **依存する** モジュールの数と、オプションで名前が表示されます。

**関連情報**

- **/usr/share/doc/kmod/README** ファイル
- **lsmod(8)** の man ページ

## 3.5. モジュール情報の表示

**modinfo** コマンドを使用して、指定したカーネルモジュールに関する詳細情報を表示します。

**前提条件**

- **kmod** パッケージがインストールされている。

**手順**

- カーネルモジュールの情報を表示するには、以下を実行します。

```
$ modinfo <KERNEL_MODULE_NAME>
```

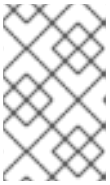
以下に例を示します。

```
$ modinfo virtio_net

filename:       /lib/modules/5.14.0-1.el9.x86_64/kernel/drivers/net/virtio_net.ko.xz
license:        GPL
description:    Virtio network driver
rhelversion:    9.0
srcversion:     8809CDDBE7202A1B00B9F1C
alias:          virtio:d00000001v*
```

```
depends:       net_failover
retpoline:     Y
intree:        Y
name:          virtio_net
vermagic:      5.14.0-1.el9.x86_64 SMP mod_unload modversions
…
parm:          napi_weight:int
parm:          csum:bool
parm:          gso:bool
parm:          napi_tx:bool
```

読み込まれているかどうかに関わらず、利用可能なすべてのモジュールの情報を照会できます。**parm** エントリーは、ユーザーがモジュールに設定できるパラメーターと、期待される値のタイプを示します。



**注記**

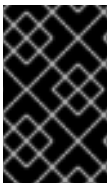
カーネルモジュールの名前を入力する際には、**.ko.xz** 拡張子は名前の末尾に追加しないでください。カーネルモジュール名には拡張子はありません。ただし、対応するファイルには拡張子があります。

**関連情報**

- **modinfo(8)** の man ページ

## 3.6. システムランタイム時のカーネルモジュールの読み込み

Linux カーネルの機能を拡張する最適な方法は、カーネルモジュールを読み込むことです。**modprobe** コマンドを使用して、カーネルモジュールを検出し、現在実行しているカーネルに読み込みます。



**重要**

この手順で説明されている変更は、システムを再起動は**維持されません**。システムの再起動後にも **設定を維持** するようにカーネルモジュールを読み込む方法は、システムの起動時に自動的にカーネルモジュールを読み込む を参照してください。

**前提条件**

- root 権限がある。
- **kmod** パッケージがインストールされている。
- 関連のカーネルモジュールが読み込まれていない。これを確認するには、読み込まれているカーネルモジュール をリスト表示します。

**手順**

1. 読み込むカーネルモジュールを選択します。
   モジュールは **/lib/modules/$(uname -r)/kernel/<SUBSYSTEM>/** ディレクトリーにあります。
2. 関連するカーネルモジュールを読み込みます。

```
# modprobe <MODULE_NAME>
```

**注記**

カーネルモジュールの名前を入力する際には、**.ko.xz** 拡張子は名前の末尾に追加しないでください。カーネルモジュール名には拡張子はありません。ただし、対応するファイルには拡張子があります。

**検証**

- 必要に応じて、関連モジュールが読み込まれたことを確認します。

```
$ lsmod | grep <MODULE_NAME>
```

モジュールが正しく読み込まれた場合、このコマンドは関連するカーネルモジュールを表示します。以下に例を示します。

```
$ lsmod | grep serio_raw
serio_raw              16384  0
```

**関連情報**

- **modprobe(8)** の man ページ

## 3.7. システムランタイム時のカーネルモジュールのアンロード

時折、実行中のカーネルから特定のカーネルモジュールをアンロードする必要性に駆られることがあります。**modprobe** コマンドを使用して、現在読み込まれているカーネルから、システムの実行時にカーネルモジュールを見つけてアンロードします。

**警告**

実行中のシステムで使用される場合は、カーネルモジュールをアンロードしないでください。これを行うと、システムが不安定になったり、動作しなくなったりすることがあります。

**重要**

この手順を終了すると、システムの起動時に自動的に読み込まれるように定義したカーネルモジュールは、システムを再起動しても**アンロードされません**。この結果を追跡する方法は、システムの起動時にカーネルモジュールが自動的にロードされないようにする を参照してください。

**前提条件**

- root 権限がある。
- **kmod** パッケージがインストールされている。

**手順**

1. ロード済みの全カーネルモジュールをリスト表示します。

```
# lsmod
```

2. アンロードするカーネルモジュールを選択します。
カーネルモジュールに依存関係がある場合は、カーネルモジュールをアンロードする前に、これらをアンロードします。依存関係のあるモジュールを特定する方法は、Listing currently loaded kernel modules および Kernel module dependencies を参照してください。

3. 関連するカーネルモジュールをアンロードします。

```
# modprobe -r <MODULE_NAME>
```

カーネルモジュールの名前を入力する際には、**.ko.xz** 拡張子は名前の末尾に追加しないでください。カーネルモジュール名には拡張子はありません。ただし、対応するファイルには拡張子があります。

**検証**

- 必要に応じて、関連モジュールがアンロードされたことを確認します。

```
$ lsmod | grep <MODULE_NAME>
```

モジュールが正常にアンロードされた場合、このコマンドは出力を表示しません。

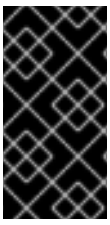
**関連情報**

- **modprobe(8)** の man ページ

## 3.8. 起動プロセスの初期段階でのカーネルモジュールのアンロード

特定の状況では、起動プロセスの初期段階でカーネルモジュールのアンロードが必要になります。たとえば、カーネルモジュールにコードが含まれているとシステムが応答しなくなり、ユーザーがステージに到達して不正なカーネルモジュールを永続的に無効にすることができません。その場合は、ブートローダーを使用して、カーネルモジュールの読み込みを一時的にブロックできます。

ブートシーケンスが続行する前に、関連するブートローダーエントリーを編集して、必要なカーネルモジュールをアンロードできます。



**重要**

この手順で説明されている変更は、システムを再起動すると**維持されません**。起動プロセス時にカーネルモジュールが自動的に読み込まれないように、denylist にカーネルモジュールを追加する方法は、システムの起動時にカーネルモジュールが自動的にロードされないようにする を参照してください。

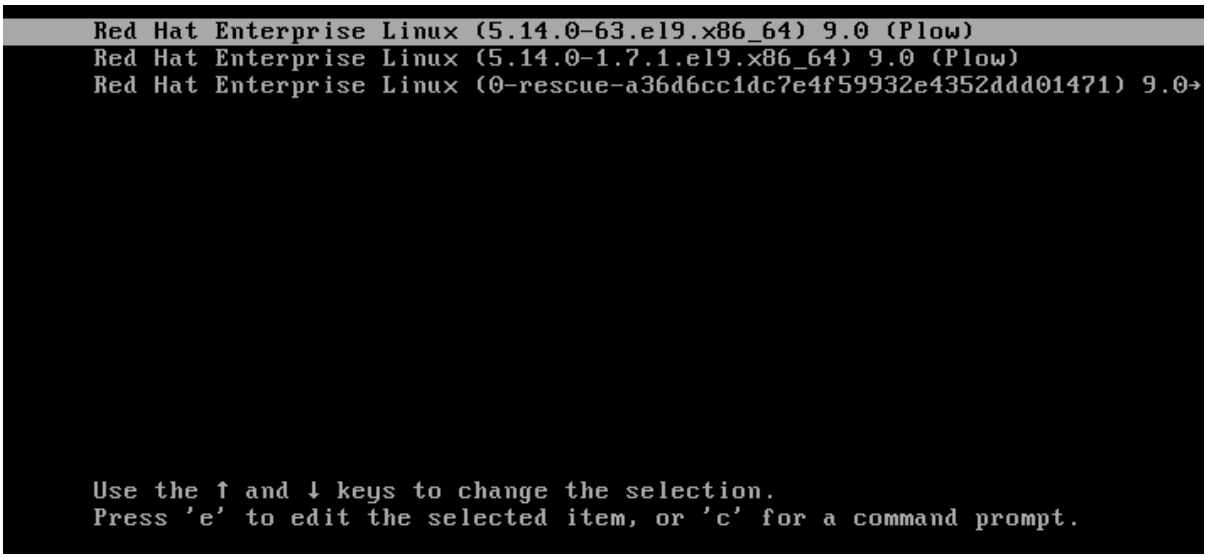
**前提条件**

- なんらかの理由で読み込みを阻止する必要のある、読み込み可能なカーネルモジュールがある。

**手順**

1. システムをブートローダーで起動します。
2. カーソルキーを使用して、関連するブートローダーエントリーを強調表示します。
3. **e** キーを押してエントリーを編集します。

   **図3.1 カーネルブートメニュー**




4. カーソルキーを使用して、**linux** で始まる行に移動します。
5. **modprobe.blacklist=module_name** を行末に追加します。

   **図3.2 カーネルブートエントリー**


   **serio_raw** カーネルモジュールは、起動プロセスの初期段階でアンロードする不正なモジュールを示しています。

6. **Ctrl**+**X** を押して、変更した設定を使用して起動します。

**検証**

- システムが完全に起動したら、関連するカーネルモジュールが読み込まれていないことを確認します。

```
# lsmod | grep serio_raw
```

**関連情報**

- カーネルモジュールの管理

## 3.9. システムの起動時に自動的にカーネルモジュールを読み込む

ブートプロセス中に自動的に読み込まれるようにカーネルモジュールを設定します。

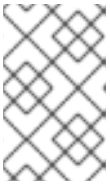
**前提条件**

- root 権限がある。
- **kmod** パッケージがインストールされている。

**手順**

1. 起動プロセス中に読み込むカーネルモジュールを選択します。
   モジュールは **/lib/modules/$(uname -r)/kernel/<SUBSYSTEM>/** ディレクトリーにあります。
2. モジュールの設定ファイルを作成します。

```
# echo <MODULE_NAME> > /etc/modules-load.d/<MODULE_NAME>.conf
```



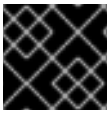
**注記**

カーネルモジュールの名前を入力する際には、**.ko.xz** 拡張子は名前の末尾に追加しないでください。カーネルモジュール名には拡張子はありません。ただし、対応するファイルには拡張子があります。

3. 必要に応じて、関連モジュールが読み込まれたことを確認します。

```
$ lsmod | grep <MODULE_NAME>
```

上記のコマンド例は成功し、関連するカーネルモジュールを表示します。



**重要**

この手順で説明している変更は、システムを再起動しても**持続されます**。

**関連情報**

- **modules-load.d(5)** の man ページ

## 3.10. システムの起動時にカーネルモジュールが自動的にロードされないようにする

対応する コマンドを使用して、**modprobe** 設定ファイルにモジュールを一覧表示することで、起動プロセス中にシステムが自動的にカーネルモジュールを読み込むことを阻止できます。

**前提条件**

- この手順のコマンドには root 権限が必要です。**su -** を使用して root ユーザーに切り替えるか、コマンドの前に **sudo** を付けます。
- **kmod** パッケージがインストールされている。
- 現在のシステム設定に、拒否する予定のカーネルモジュールが必要ないことを確認する。

**手順**

1. **lsmod** コマンドを使用して、現在実行中のカーネルに読み込まれているモジュールを一覧表示します。

```
$ lsmod
Module                  Size  Used by
tls                   131072  0
uinput                 20480  1
snd_seq_dummy          16384  0
snd_hrtimer            16384  1
…
```

出力で、読み込みを阻止するモジュールを特定します。

- または、**/lib/modules/<KERNEL-VERSION>/kernel/<SUBSYSTEM>/** ディレクトリーに読み込まれないようにするアンロードしたカーネルモジュールを特定します。以下に例を示します。

```
$ ls /lib/modules/4.18.0-477.20.1.el8_8.x86_64/kernel/crypto/
ansi_cprng.ko.xz        chacha20poly1305.ko.xz  md4.ko.xz
serpent_generic.ko.xz
anubis.ko.xz            cmac.ko.xz…
```

2. 拒否リストとして機能する設定ファイルを作成します。

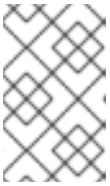
```
# touch /etc/modprobe.d/denylist.conf
```

3. 任意のテキストエディターで、カーネルへの自動読み込みから除外するモジュール名を **blacklist** 設定コマンドと組み合わせます。以下に例を示します。

```
# Prevents <KERNEL-MODULE-1> from being loaded
blacklist <MODULE-NAME-1>
install <MODULE-NAME-1> /bin/false

# Prevents <KERNEL-MODULE-2> from being loaded
blacklist <MODULE-NAME-2>
install <MODULE-NAME-2> /bin/false
…
```

**blacklist** コマンドは、モジュールが、拒否リストにない別のカーネルモジュールの依存関係として読み込まれることを阻止しないため、**install** 行も定義する必要があります。この場合、システムはモジュールをインストールする代わりに **/bin/false** を実行します。ハッシュ記号で始まる行は、ファイルをより読みやすくするために使用可能なコメントです。



**注記**

カーネルモジュールの名前を入力する際には、**.ko.xz** 拡張子は名前の末尾に追加しないでください。カーネルモジュール名には拡張子はありません。ただし、対応するファイルには拡張子があります。

4. 再構築を行う前に、現在の初期 RAM ディスクイメージのバックアップコピーを作成します。

```
# cp /boot/initramfs-$(uname -r).img /boot/initramfs-$(uname -r).bak.$(date +%m-%d-%H%M%S).img
```

- または、カーネルモジュールの自動読み込みを阻止するカーネルバージョンに対応する初期 RAM ディスクイメージのバックアップコピーを作成します。

```
# cp /boot/initramfs-<VERSION>.img /boot/initramfs-<VERSION>.img.bak.$(date +%m-%d-%H%M%S)
```

5. 新しい初期 RAM ディスクイメージを生成して、変更を適用します。

```
# dracut -f -v
```

- システムで現在使用中のものとは異なるカーネルバージョンの初期 RAM ディスクイメージを構築する場合は、ターゲット **initramfs** とカーネルバージョンの両方を指定します。

```
# dracut -f -v /boot/initramfs-<TARGET-VERSION>.img <CORRESPONDING-TARGET-KERNEL-VERSION>
```

6. システムを再起動します。

```
$ reboot
```

**重要**

この手順で説明している変更は、システムを再起動しても**持続されます**。拒否リストにキーカーネルモジュールを誤って記載した場合、システムを不安定または操作不能な状態に切り換えることができます。

**関連情報**

- ソリューション記事 How do I prevent a kernel module from loading automatically? を参照してください。
- **modprobe.d(5)** および **dracut(8)** の man ページ を参照してください。

## 3.11. カスタムカーネルモジュールのコンパイル

ハードウェアおよびソフトウェアレベルで、さまざまな設定による要求に応じて、サンプリングカーネルモジュールを構築できます。

**前提条件**

- **kernel-devel** パッケージ、**gcc** パッケージ、および **elfutils-libelf-devel** パッケージをインストールしている。

```
# dnf install kernel-devel-$(uname -r) gcc elfutils-libelf-devel
```

- root 権限がある。
- カスタムカーネルモジュールをコンパイルする **/root/testmodule/** ディレクトリーを作成している。

**手順**

1. 以下の内容で **/root/testmodule/test.c** を作成します。

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>

int init_module(void)
  { printk("Hello World\n This is a test\n"); return 0; }

void cleanup_module(void)
  { printk("Good Bye World"); }

MODULE_LICENSE("GPL");
```

**test.c** ファイルは、カーネルモジュールに主な機能を提供するソースファイルです。このファイルは、組織的な目的で、専用の **/root/testmodule/** ディレクトリーに作成されています。モジュールをコンパイルすると、**/root/testmodule/** ディレクトリーには複数のファイルが含まれます。

**test.c** ファイルには、システムライブラリーから次のものが含まれます。

- サンプルコードの **printk()** 機能には、**linux/kernel.h** ヘッダーファイルが必要です。
- **linux/module.h** ファイルには、C 言語で記述した複数のソースファイルで共有する関数宣言とマクロ定義が含まれています。

2. 次に、**init_module()** 関数および **cleanup_module()** 関数に従い、テキストを出力するカーネルロギング機能 **printk()** を起動および終了します。

3. 以下の内容で **/root/testmodule/Makefile** を作成します。

```
obj-m := test.o
```

Makefile には、コンパイラーが、**test.o** という名前のオブジェクトファイルを作成する必要がある指示が含まれています。**obj-m** ディレクティブは、生成される **test.ko** ファイルを、読み込み可能なカーネルモジュールとしてコンパイルすることを指定します。もしくは、**obj-y** ディレクティブは、組み込みカーネルモジュールとして **test.ko** をビルドするように指示します。

4. カーネルモジュールをコンパイルします。

```
# make -C /lib/modules/$(uname -r)/build M=/root/testmodule modules
make: Entering directory '/usr/src/kernels/5.14.0-70.17.1.el9_0.x86_64'
  CC [M]  /root/testmodule/test.o
  MODPOST /root/testmodule/Module.symvers
  CC [M]  /root/testmodule/test.mod.o
  LD [M]  /root/testmodule/test.ko
```

```
  BTF [M] /root/testmodule/test.ko
Skipping BTF generation for /root/testmodule/test.ko due to unavailability of vmlinux
make: Leaving directory '/usr/src/kernels/5.14.0-70.17.1.el9_0.x86_64'
```

コンパイラーは、各ソースファイル (**test.c**) のオブジェクトファイル (**test.o**) を中間手順として作成してから、それらを最終カーネルモジュール (**test.ko**) にリンクします。

コンパイルが成功すると、**/root/testmodule/** には、コンパイル済みカスタムカーネルモジュールに関連する追加ファイルが含まれます。コンパイル済みモジュール自身は、**test.ko** ファイルで表されます。

**検証**

1. 必要に応じて、**/root/testmodule/** ディレクトリーのコンテンツを確認します。

```
# ls -l /root/testmodule/
total 152
-rw-r—r--. 1 root root    16 Jul 26 08:19 Makefile
-rw-r—r--. 1 root root    25 Jul 26 08:20 modules.order
-rw-r—r--. 1 root root     0 Jul 26 08:20 Module.symvers
-rw-r—r--. 1 root root   224 Jul 26 08:18 test.c
-rw-r—r--. 1 root root 62176 Jul 26 08:20 test.ko
-rw-r—r--. 1 root root    25 Jul 26 08:20 test.mod
-rw-r—r--. 1 root root   849 Jul 26 08:20 test.mod.c
-rw-r—r--. 1 root root 50936 Jul 26 08:20 test.mod.o
-rw-r—r--. 1 root root 12912 Jul 26 08:20 test.o
```

2. カーネルモジュールを **/lib/modules/$(uname -r)/** ディレクトリーにコピーします。

```
# cp /root/testmodule/test.ko /lib/modules/$(uname -r)/
```

3. モジュールの依存関係のリストを更新します。

```
# depmod -a
```

4. カーネルモジュールを読み込みます。

```
# modprobe -v test
insmod /lib/modules/5.14.0-1.el9.x86_64/test.ko
```

5. カーネルモジュールが正常に読み込まれたことを確認します。

```
# lsmod | grep test
test                   16384  0
```

6. カーネルリングバッファーから最新のメッセージを読み込みます。

```
# dmesg
[74422.545004] Hello World
               This is a test
```

**関連情報**

- カーネルモジュールの管理

# 第4章 カーネルコマンドラインパラメーターの設定

カーネルコマンドラインパラメーターを使用すると、ブート時に Red Hat Enterprise Linux カーネルの特定の側面の動作を変更できます。システム管理者は、システムの起動時に設定されるオプションを完全に制御できます。特定のカーネルの動作はシステムの起動時にのみ設定できるため、このような変更を行う方法を理解することが管理スキルの鍵となります。

**重要**

カーネルコマンドラインパラメーターを変更してシステムの動作を変更すると、システムに悪影響が及ぶ可能性があります。変更を実稼働環境にデプロイする前に、必ず変更をテストしてください。詳細なガイダンスは、Red Hat サポートまでご連絡ください。

## 4.1. カーネルコマンドラインパラメーターの設定

カーネルコマンドラインパラメーターを使用すると、デフォルト値を上書きしたり、特定のハードウェア設定を指定したりできます。ブート時に、次の機能を設定できます。

- Red Hat Enterprise Linux カーネル
- 初期 RAM ディスク
- ユーザー領域機能

デフォルトでは、GRUB ブートローダーを使用するシステムのカーネルコマンドラインパラメーターは、カーネルブートエントリーごとにブートエントリー設定ファイルに定義されます。

**grubby** ユーティリティーを使用すると、ブートローダー設定ファイルを操作できます。**grubby** を使用すると、次のアクションを実行できます。

- デフォルトのブートエントリーの変更
- GRUB メニューエントリーに対する引数の追加または削除

**関連情報**

- **kernel-command-line(7)**、**bootparam(7)**、および **dracut.cmdline (7)** の man ページ
- How to install and boot custom kernels in Red Hat Enterprise Linux 8
- **grubby(8)** の man ページ

## 4.2. ブートエントリーについて

ブートエントリーは設定ファイルに格納され、特定のカーネルバージョンに関連付けられるオプションの集合です。実際には、ブートエントリーは、システムにカーネルがインストールされているのと同じ数だけあります。ブートエントリーの設定ファイルは、**/boot/loader/entries/** ディレクトリーにあり、以下のようになります。

```
d8712ab6d4f14683c5625e87b52b6b6e-5.14.0-1.el9.x86_64.conf
```

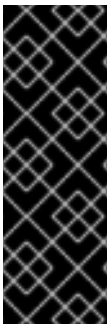
上記のファイル名は、**/etc/machine-id** ファイルに保存されているマシン ID と、カーネルバージョンから設定されます。

ブートエントリーの設定ファイルには、カーネルバージョン、初期 ramdisk イメージ、およびカーネルコマンドラインパラメーターに関する情報が含まれます。ブートエントリー設定例の内容は、以下のようになります。

```
title Red Hat Enterprise Linux (5.14.0-1.el9.x86_64) 9.0 (Plow)
version 5.14.0-1.el9.x86_64
linux /vmlinuz-5.14.0-1.el9.x86_64
initrd /initramfs-5.14.0-1.el9.x86_64.img
options root=/dev/mapper/rhel_kvm--02--guest08-root ro crashkernel=1G-4G:192M,4G-64G:256M,64G-:512M resume=/dev/mapper/rhel_kvm--02--guest08-swap rd.lvm.lv=rhel_kvm-02-guest08/root rd.lvm.lv=rhel_kvm-02-guest08/swap console=ttyS0,115200
grub_users $grub_users
grub_arg --unrestricted
grub_class kernel
```

## 4.3. すべてのブートエントリーでカーネルコマンドラインパラメーターの変更

システム上のすべてのブートエントリーのカーネルコマンドラインパラメーターを変更します。



**重要**

RHEL 9 システムに新しいバージョンのカーネルをインストールすると、**grubby** ツールは以前のカーネルバージョンからカーネルコマンドライン引数を渡します。

ただし、これは、新しくインストールされたカーネルが以前のコマンドラインオプションを失う RHEL バージョン 9.0 には適用されません。新しくインストールしたカーネルで **grub2-mkconfig** コマンドを実行して、パラメーターを新しいカーネルに渡す必要があります。この既知の問題の詳細については、ブートローダー を参照してください。

**前提条件**

- **grubby** ユーティリティーがシステムにインストールされていることを確認してください。
- **zipl** ユーティリティーが IBM Z システムにインストールされていることを確認してください。

**手順**

- パラメーターを追加するには、以下を行います。

  ```
  # grubby --update-kernel=ALL --args="<NEW_PARAMETER>"
  ```

  GRUB ブートローダーを使用するシステムの場合、zIPL ブートローダーを使用する IBM Z では、新しいカーネルパラメーターを各 **/boot/loader/entries/<ENTRY>.conf** ファイルに追加します。

  - IBM Z で、ブートメニューを更新します。

    ```
    # zipl
    ```

- パラメーターを削除するには、次のコマンドを実行します。

  ```
  # grubby --update-kernel=ALL --remove-args="<PARAMETER_TO_REMOVE>"
  ```

- IBM Z で、ブートメニューを更新します。

```
# zipl
```

**関連情報**

- カーネルコマンドラインパラメーターの設定
- **grubby(8)** および **zipl(8)** の man ページ
- grubby ツール

## 4.4. 1つのブートエントリーでカーネルコマンドラインパラメーターの変更

システム上の単一のブートエントリーのカーネルコマンドラインパラメーターを変更します。

**前提条件**

- **grubby** ユーティリティーおよび **zipl** ユーティリティーがシステムにインストールされている。

**手順**

- パラメーターを追加するには、以下を行います。

```
# grubby --update-kernel=/boot/vmlinuz-$(uname -r) --args="<NEW_PARAMETER>"
```

  - IBM Z で、ブートメニューを更新します。

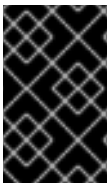
```
# zipl
```

- パラメーターを削除するには、次のコマンドを実行します。

```
# grubby --update-kernel=/boot/vmlinuz-$(uname -r) --remove-args="
<PARAMETER_TO_REMOVE>"
```

  - IBM Z で、ブートメニューを更新します。

```
# zipl
```



**重要**

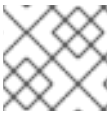
- **grubby** は、個別のカーネルブートエントリーのカーネルコマンドラインパラメーターを変更して、**/boot/loader/entries/<ENTRY>.conf** ファイルに保存します。

**関連情報**

- カーネルコマンドラインパラメーターの設定
- **grubby(8)** および **zipl(8)** の man ページ
- grubby ツール

## 4.5. 起動時の一時的なカーネルコマンドラインパラメーターの変更

1 回の起動プロセス中にのみカーネルパラメーターを変更することで、カーネルメニューエントリーを一時的に変更します。

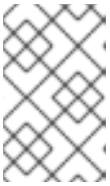


**注記**

この手順は単一ブートにのみ適用され、変更は永続的に行われません。

**手順**

1. GRUB 2 ブートメニューを起動します。
2. 起動するカーネルを選択します。
3. **e** キーを押してカーネルパラメーターを編集します。
4. カーソルを下に移動してカーネルコマンドラインを見つけます。カーネルコマンドラインは、64 ビット IBM Power シリーズおよび x86-64 BIOS ベースのシステムの場合は **linux** で始まり、UEFI システムの場合は **linuxefi** で始まります。
5. カーソルを行の最後に移動します。



**注記**

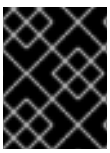
行の最初に移動するには **Ctrl**+**a** を押します。行の最後に移動するには **Ctrl**+**e** を押します。システムによっては、**Home** キーおよび **End** キーも機能する場合があります。

6. 必要に応じてカーネルパラメーターを編集します。たとえば、緊急モードでシステムを実行するには、**linux** 行の最後に **emergency** パラメーターを追加します。

```
linux   ($root)/vmlinuz-5.14.0-63.el9.x86_64 root=/dev/mapper/rhel-root ro crashkernel=1G-4G:192M,4G-64G:256M,64G-:512M resume=/dev/mapper/rhel-swap rd.lvm.lv=rhel/root rd.lvm.lv=rhel/swap rhgb quiet emergency
```

システムメッセージを有効にするには、**rhgb** および **quiet** パラメーターを削除します。

7. **Ctrl**+**x** を押して、選択したカーネルと変更したコマンドラインパラメーターで起動します。



**重要**

**Esc** キーを押してコマンドラインの編集を終了すると、ユーザーの加えた変更はすべて破棄されます。

## 4.6. シリアルコンソール接続を有効にする GRUB 設定

シリアルコンソールは、ネットワークがダウンしている場合にヘッドレスサーバーまたは埋め込みシステムに接続する際に便利です。あるいは、セキュリティールールを回避し、別のシステムへのログインアクセスを取得する必要がある場合などです。

シリアルコンソール接続を使用するように、デフォルトの GRUB 設定の一部を設定する必要があります。

**前提条件**

- root 権限がある。

**手順**

1. **/etc/default/grub** ファイルに以下の 2 つの行を追加します。

```
GRUB_TERMINAL="serial"
GRUB_SERIAL_COMMAND="serial --speed=9600 --unit=0 --word=8 --parity=no --stop=1"
```

最初の行は、グラフィカルターミナルを無効にします。**GRUB_TERMINAL** キーは、**GRUB_TERMINAL_INPUT** および **GRUB_TERMINAL_OUTPUT** の値を上書きします。

2 行目は、ボーレート (**--speed**)、パリティー、および他の値を使用中の環境とハードウェアに適合するように調整します。以下のログファイルのようなタスクには、115200 のように非常に高いボーレートが推奨されます。

2. GRUB 設定ファイルを更新します。

- BIOS ベースのマシンの場合:

```
# grub2-mkconfig -o /boot/grub2/grub.cfg
```

- UEFI ベースのマシンの場合:

```
# grub2-mkconfig -o /boot/grub2/grub.cfg
```

3. システムを再起動して、変更を有効にします。

## 4.7. GRUB 設定ファイルを使用したブートエントリーの変更

**/etc/default/grub** GRUB 設定ファイルには、Linux カーネルのブートエントリーに追加するカーネルコマンドライン引数をリスト表示する **GRUB_CMDLINE_LINUX** キーが含まれます。以下に例を示します。

```
GRUB_CMDLINE_LINUX="crashkernel=1G-4G:192M,4G-64G:256M,64G-:512M
resume=/dev/mapper/rhel-swap rd.lvm.lv=rhel/root rd.lvm.lv=rhel/swap"
```

ブートエントリーを変更するには、ブートローダー仕様 (BLS) スニペットを **GRUB_CMDLINE_LINUX** 値の内容で上書きします。

**前提条件**

- 新規の RHEL 9 インストールである。

**手順**

1. **grubby** を使用して、インストール後のスクリプトで個々のカーネルのカーネルパラメーターを追加または削除します。

```
# grubby --update-kernel <PATH_TO_KERNEL> --args "<NEW_ARGUMENTS>"
```

たとえば、選択したカーネルに **noapic** パラメーターを追加します。

```
# grubby --update-kernel /boot/vmlinuz-5.14.0-362.8.1.el9_3.x86_64 --args "noapic"
```

パラメーターは BLS スニペットには伝播しますが、**/etc/default/grub** ファイルには伝播しません。

2. **/etc/default/grub** ファイルに存在する **GRUB_CMDLINE_LINUX** 値の内容で BLS スニペットを上書きします。

```
# grub2-mkconfig -o /boot/grub2/grub.cfg --update-bls-cmdline
Generating grub configuration file …
Adding boot menu entry for UEFI Firmware Settings …
done
```

**注記**

**GRUB_TIMEOUT** キー (**/etc/default/grub** GRUB 設定ファイルにも含まれています) に加えられた変更など、その他の変更は、デフォルトで新しい **grub.cfg** に伝搬します。

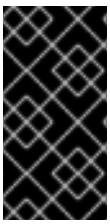
**検証**

1. オペレーティングシステムを再起動します。
2. パラメーターが **/proc/cmdline** ファイルに含まれていることを確認します。
たとえば、**/proc/cmdline** には、**noapic** カーネルパラメーターが含まれています。

```
BOOT_IMAGE=(hd0,gpt2)/vmlinuz-4.18.0-425.3.1.el8.x86_64 root=/dev/mapper/RHELCSB-Root ro vconsole.keymap=us crashkernel=auto rd.lvm.lv=RHELCSB/Root rd.luks.uuid=luks-d8a28c4c-96aa-4319-be26-96896272151d rhgb quiet noapic rd.luks.key=d8a28c4c-96aa-4319-be26-96896272151d=/keyfile:UUID=c47d962e-4be8-41d6-8216-8cf7a0d3b911 ipv6.disable=1
```

# 第5章 ランタイム時のカーネルパラメーターの設定

システム管理者は、ランタイム時に Red Hat Enterprise Linux カーネルの動作を多数変更できます。**sysctl** コマンドを使用し、**/etc/sysctl.d/** および **/proc/sys/** ディレクトリー内の設定ファイルを変更して、実行時にカーネルパラメーターを設定します。



**重要**

プロダクションシステムでカーネルパラメーターを設定するには、慎重なプランニングが必要です。プランニングが欠如した変更では、カーネルが不安定になり、システムの再起動が必要とることがあります。カーネル値を変更する前に、有効なオプションを使用していることを確認してください。

## 5.1. カーネルパラメーターとは

カーネルパラメーターは、システムの実行中に調整できる調整可能な値です。変更を有効にする場合でも、カーネルの再起動や再コンパイルは不要です。

以下を使用してカーネルパラメーターに対応できます。

- **sysctl** コマンド
- **/proc/sys/** ディレクトリーにマウントされている仮想ファイルシステム
- **/etc/sysctl.d/** ディレクトリー内の設定ファイル

調整可能パラメーターは、カーネルサブシステムでクラスに分割されます。Red Hat Enterprise Linux には、以下の調整可能のクラスがあります。

**表5.1 sysctl クラスの表**

| 調整パラメーターのクラス | サブシステム |
|---|---|
| **abi** | 実行ドメインおよびパーソナリティー |
| **crypto** | 暗号化インターフェイス |
| **debug** | カーネルのデバッグインターフェイス |
| **dev** | デバイス固有の情報 |
| **fs** | グローバルおよび固有の調整可能なファイルシステム |
| **kernel** | グローバルなカーネルの設定項目 |
| **net** | ネットワークの設定項目 |
| **sunrpc** | Sun Remote Procedure Call (NFS) |
| **user** | ユーザー名前空間の制限 |

| 調整パラメーターのクラス | サブシステム |
| --- | --- |
| **vm** | メモリー、バッファー、およびキャッシュのチューニングと管理 |

**関連情報**

- **sysctl(8)** および **sysctl.d(5)** の man ページ

## 5.2. SYSCTL でカーネルパラメーターの一時的な設定

**sysctl** コマンドを使用して、実行時に一時的にカーネルパラメーターを設定します。このコマンドは、調整可能パラメーターのリスト表示およびフィルタリングにも便利です。

**前提条件**

- root 権限がある。

**手順**

1. すべてのパラメーターとその値をリストします。

```
# sysctl -a
```

**注記**

**# sysctl -a** コマンドは、ランタイム時およびシステムの起動時に調整できるカーネルパラメーターを表示します。

2. パラメーターを一時的に設定するには、次のように入力します。

```
# sysctl <TUNABLE_CLASS>.<PARAMETER>=<TARGET_VALUE>
```

上記のサンプルコマンドは、システムの実行中にパラメーター値を変更します。この変更は、再起動なしですぐに適用されます。

**注記**

変更は、システムの再起動後にデフォルトに戻ります。

**関連情報**

- **sysctl(8)** の man ページ
- sysctl を使用したカーネルパラメーターの永続的な設定
- /etc/sysctl.d/ の設定ファイルでカーネルパラメーターの調整

## 5.3. SYSCTL を使用したカーネルパラメーターの永続的な設定

**sysctl** コマンドを使用して、カーネルパラメーターを永続的に設定します。

**前提条件**

- root 権限がある。

**手順**

1. すべてのパラメーターをリストします。

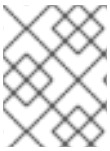
```
# sysctl -a
```

このコマンドは、ランタイム時に設定できるカーネルパラメーターをすべて表示します。

2. パラメーターを永続的に設定すします。

```
# sysctl -w <TUNABLE_CLASS>.<PARAMETER>=<TARGET_VALUE> >> /etc/sysctl.conf
```

サンプルコマンドは、調整可能な値を変更して、**/etc/sysctl.conf** ファイルに書き込みます。これにより、カーネルパラメーターのデフォルト値が上書きされます。変更は、再起動なしで即座に永続的に反映されます。



**注記**

カーネルパラメーターを永続的に変更するには、**/etc/sysctl.d/** ディレクトリーの設定ファイルに手動で変更を行ってください。

**関連情報**

- **sysctl(8)** および **sysctl.conf(5)** の man ページ
- /etc/sysctl.d/ の設定ファイルでカーネルパラメーターの調整

## 5.4. /ETC/SYSCTL.D/ の設定ファイルでカーネルパラメーターの調整

**/etc/sysctl.d/** ディレクトリーの設定ファイルを手動で変更して、カーネルパラメーターを永続的に設定します。

**前提条件**

- root 権限がある。

**手順**

1. **/etc/sysctl.d/** に新しい設定ファイルを作成します。

```
# vim /etc/sysctl.d/<some_file.conf>
```

2. カーネルパラメーターを 1 行に 1 つずつ含めます。

```
<TUNABLE_CLASS>.<PARAMETER>=<TARGET_VALUE>
<TUNABLE_CLASS>.<PARAMETER>=<TARGET_VALUE>
```

3. 設定ファイルを作成します。

4. マシンを再起動して、変更を有効にします。
   - また、再起動せずに変更を適用するには、以下を実行します。

     ```
     # sysctl -p /etc/sysctl.d/<some_file.conf>
     ```

     このコマンドにより、以前に作成した設定ファイルから値を読み取ることができます。

**関連情報**

- **sysctl(8)**、**sysctl.d(5)** の man ページ

## 5.5. /PROC/SYS/ でカーネルパラメーターの一時的な設定

**/proc/sys/** 仮想ファイルシステムディレクトリー内のファイルを使用して、一時的にカーネルパラメーターを設定します。

**前提条件**

- root 権限がある。

**手順**

1. 設定するカーネルパラメーターを特定します。

   ```
   # ls -l /proc/sys/<TUNABLE_CLASS>/
   ```

   コマンドが返した書き込み可能なファイルは、カーネルの設定に使用できます。読み取り専用権限を持つユーザーは、現在の設定についてフィードバックを提供します。

2. カーネルパラメーターにターゲットの値を割り当てます。

   ```
   # echo <TARGET_VALUE> > /proc/sys/<TUNABLE_CLASS>/<PARAMETER>
   ```

   このコマンドでは、システムが再起動すると設定変更が消えます。

3. 必要に応じて、新しく設定した設定したカーネルパラメーターの値を確認します。

   ```
   # cat /proc/sys/<TUNABLE_CLASS>/<PARAMETER>
   ```

**関連情報**

- sysctl を使用したカーネルパラメーターの永続的な設定
- /etc/sysctl.d/ の設定ファイルでカーネルパラメーターの調整

## 5.6. 関連情報

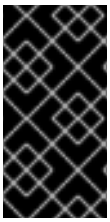
- Tuning Red Hat Enterprise Linux for IBM DB2

# 第6章 RHEL システムロールを使用したカーネルパラメーターの永続的な設定

**kernel_settings** RHEL システムロールを使用すると、複数のクライアントにカーネルパラメーターを一度に設定できます。この解決策は以下のとおりです。

- 効率的な入力設定を持つ使いやすいインターフェイスを提供します。
- すべてのカーネルパラメーターを 1 か所で保持します。

コントロールマシンから **kernel_settings** ロールを実行すると、カーネルパラメーターはすぐに管理システムに適用され、再起動後も維持されます。



**重要**

RHEL チャネルで提供される RHEL システムロールは、デフォルトの App Stream リポジトリー内の RPM パッケージとして RHEL のお客様に提供されることに注意してください。また、RHEL システムロールは、Ansible Automation Hub を介して Ansible サブスクリプションをご利用のお客様に、コレクションとして提供されます。

## 6.1. KERNEL_SETTINGS RHEL システムロールの概要

RHEL システムロールは、複数のシステムをリモートで管理する、一貫した設定インターフェイスを提供する一連のロールです。

RHEL システムロールは、**kernel_settings** RHEL システムロールを使用してカーネルを自動的に設定するために導入されました。**rhel-system-roles** パッケージには、このシステムロールと参考ドキュメントも含まれます。

カーネルパラメーターを自動的に 1 つ以上のシステムに適用するには、Playbook で選択したロール変数を 1 つ以上使用して、**kernel_settings** ロールを使用します。Playbook は人間が判読でき、YAML 形式で記述される 1 つ以上のプレイのリストです。

インベントリーファイルを使用して、Ansible が Playbook に従って設定するシステムセットを定義することができます。

**kernel_settings** ロールを使用して、以下を設定できます。

- **kernel_settings_sysctl** ロールを使用したカーネルパラメーター
- **kernel_settings_sysfs** ロールを使用したさまざまなカーネルサブシステム、ハードウェアデバイス、およびデバイスドライバー
- **systemd** サービスマネージャーの CPU アフィニティー を、**kernel_settings_systemd_cpu_affinity** ロール変数を使用してフォーク処理します。
- **kernel_settings_transparent_hugepages** および **kernel_settings_transparent_hugepages_defrag** のロール変数を使用したカーネルメモリーサブシステムの Transparent Huge Page

**関連情報**

- **/usr/share/ansible/roles/rhel-system-roles.kernel_settings/README.md** ファイル
- **/usr/share/doc/rhel-system-roles/kernel_settings/** ディレクトリー

- Playbook の使用
- インベントリーの構築方法

## 6.2. KERNEL_SETTINGS RHEL システムロールを使用して選択したカーネルパラメーターの適用

以下の手順に従って、Ansible Playbook を準備および適用し、複数の管理システムで永続化の影響でカーネルパラメーターをリモートに設定します。

**前提条件**

- 制御ノードと管理ノードを準備している
- 管理対象ノードで Playbook を実行できるユーザーとしてコントロールノードにログインしている。
- 管理対象ノードへの接続に使用するアカウントに、そのノードに対する **sudo** 権限がある。

**手順**

1. 次の内容を含む Playbook ファイル (例: ~/**playbook.yml**) を作成します。

```
---
- name: Configure kernel settings
  hosts: managed-node-01.example.com
  roles:
    - rhel-system-roles.kernel_settings
  vars:
    kernel_settings_sysctl:
      - name: fs.file-max
        value: 400000
      - name: kernel.threads-max
        value: 65536
    kernel_settings_sysfs:
      - name: /sys/class/net/lo/mtu
        value: 65000
    kernel_settings_transparent_hugepages: madvise
```

   - **name**: 任意の文字列をラベルとしてプレイに関連付け、プレイの対象を特定するオプションのキー。
   - **hosts**: プレイを実行するホストを指定するプレイ内のキー。このキーの値または値は、マネージドホストの個別名または **inventory** ファイルで定義されているホストのグループとして指定できます。
   - **vars**: 選択したカーネルパラメーター名と、それらに対して設定する必要がある値を含む変数のリストを表す Playbook のセクション。
   - **role**: **vars** セクションで指定されたパラメーターと値を設定する RHEL システムロールを指定するキー。

**注記**

必要に応じて、Playbook のカーネルパラメーターとその値を変更することができます。

2. Playbook の構文を検証します。

```
$ ansible-playbook --syntax-check ~/playbook.yml
```

このコマンドは構文を検証するだけであり、有効だが不適切な設定から保護するものではないことに注意してください。

3. Playbook を実行します。

```
$ ansible-playbook ~/playbook.yml
```

4. マネージドホストを再起動して、影響を受けるカーネルパラメーターをチェックし、変更が適用され、再起動後も維持されていることを確認します。

**関連情報**

- **/usr/share/ansible/roles/rhel-system-roles.kernel_settings/README.md** ファイル
- **/usr/share/doc/rhel-system-roles/kernel_settings/** ディレクトリー
- Playbook の使用
- 変数の使用
- ロール

# 第7章 カーネルライブパッチでパッチの適用

Red Hat Enterprise Linux カーネルのライブパッチソリューションを使用して、システムの再起動またはプロセスの再起動を行わずに、実行中のカーネルにパッチを当てることができます。

このソリューションでは、システム管理者は以下を行うことができます。

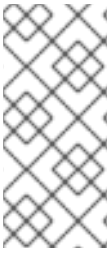
- 重大なセキュリティーパッチをカーネルに即座に適用することが可能。
- 長時間実行しているタスクの完了、ユーザーのログオフ、スケジュールダウンタイムを待つ必要がない。
- システムのアップタイムをより制御し、セキュリティーや安定性を犠牲にしない。

重要な、重要なすべての CVE は、カーネルライブパッチソリューションで解決されるわけではありません。この目的は、セキュリティー関連パッチに必要な再起動を減らすことであり、完全になくすことではありません。ライブパッチの範囲の詳細は、**RHEL 7 はライブカーネルパッチ (kpatch) をサポートしていますか？**を参照してください。

**警告**

カーネルのライブマイグレーションパッチと、その他のカーネルサブコンポーネントとの間に、いくらか非互換性が存在します。以下を参照してください。

カーネルのライブパッチを使用する前に、kpatch の制限 を慎重に確認してください。



**注記**

カーネルのライブパッチ更新のサポート頻度の詳細は、以下を参照してください。

- Kernel Live Patch Support Cadence Update
- Kernel Live Patch life cycles

## 7.1. KPATCH の制限

- **kpatch** 機能は、汎用のカーネルアップグレードメカニズムではありません。システムをすぐに再起動できない場合など、単純なセキュリティーおよびバグ修正の更新を適用する場合に使用します。
- パッチの読み込み中または読み込み後は、**SystemTap** ツールまたは **kprobe** ツールを使用しないでください。このようなプローブが削除されるまでは、パッチが適用できなくなる可能性があります。

## 7.2. サードパーティーのライブパッチサポート

**kpatch** ユーティリティーは、Red Hat リポジトリー提供の RPM モジュールを含む、Red Hat がサポートする唯一のカーネルライブパッチユーティリティーです。Red Hat は、Red Hat 提供でないライブカーネルパッチはサポートしません。

サードパーティーのライブパッチで発生する問題に対応する必要がある場合、Red Hat では、原因発見を必要とする調査のアウトセットで、ライブパッチベンダーにケースを開くことを奨していますこれにより、ベンダーが許可すれば、ソースコードの供給が可能になり、Red Hat サポートに調査を依頼する前に、サポート組織への原因追及を支援することがになります。

サードパーティーのライブパッチを実行しているシステムの場合、Red Hat は、Red Hat が同梱し、サポートしているソフトウェアの複製を求める権利を有します。これが可能でない場合、Red Hat は、同じ動作が発生するかどうかを確認するために、ライブパッチを適用せずに、お使いのテスト環境で同じようなシステムとワークロードのデプロイメントを求めます。

サードパーティーソフトウェアサポートポリシーの詳細は、Red Hat グローバルサポートサービスは、サードパーティーのソフトウェア、ドライバー、そして認定されていないハードウェアおよびハイパーバイザー、もしくはゲストのオペレーティングシステムについてどのようなサポートを提供していますか？を参照してください。

## 7.3. カーネルライブパッチへのアクセス

ライブのカーネルパッチ機能は、RPM パッケージとして提供されるカーネルモジュール (**kmod**) として実装されます。

すべてのお客様は、通常のチャンネルから提供されるカーネルライブパッチにアクセスできます。ただし、延長サポートサービスにサブスクライブしていないお客様は、次のマイナーリリースが利用可能になると、現行のマイナーリリースに対する新しいパッチへのアクセスを失うことになります。たとえば、標準のサブスクリプションを購入しているお客様は、RHEL 9.2 カーネルがリリースされるまで RHEL 9.1 カーネルのライブパッチのみを行うことができます。

## 7.4. カーネルライブパッチのコンポーネント

カーネルのライブパッチのコンポーネントは、以下のようになります。

**カーネルパッチモジュール**

- カーネルライブパッチの配信メカニズム
- パッチが適用されるカーネル用に構築したカーネルモジュール。
- パッチモジュールには、カーネルに必要な修正のコードが含まれます。
- パッチモジュールは、**kpatch** カーネルサブシステムで登録し、置き換えられるオリジナル機能の情報を提供します。また、置換される機能に一致するポインターも含まれます。カーネルパッチモジュールは RPM として提供されます。
- 命名規則は、**kpatch_<kernel version>_<kpatch version>_<kpatch release>** です。名前の kernel version 部分の **ドット** は、**アンダースコア** に置き換えます。

**kpatch ユーティリティー**

パッチモジュールを管理するためのコマンドラインユーティリティー。

**kpatch サービス**

**multiuser.target** で必要な **systemd** サービス。このターゲットは、システムの起動時にカーネルパッチをロードします。

**kpatch-dnf パッケージ**

RPM パッケージ形式で配信される DNF プラグイン。このプラグインは、カーネルライブパッチへの自動サブスクリプションを管理します。

## 7.5. カーネルライブパッチの仕組み

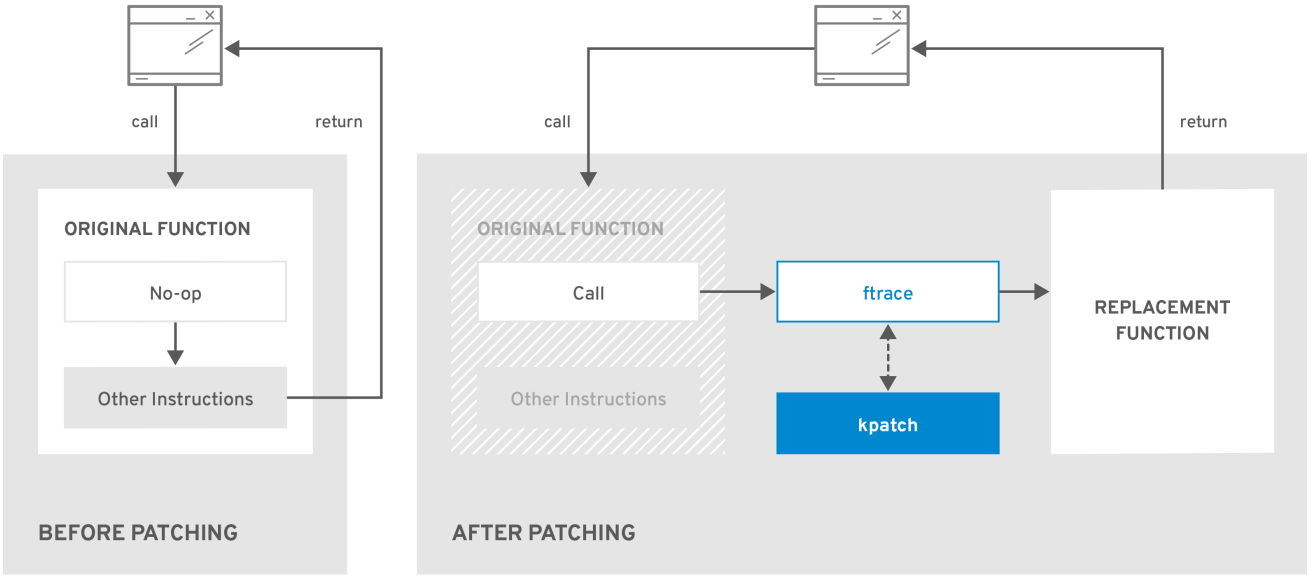
**kpatch** カーネルパッチソリューションは、**livepatch** カーネルサブシステムを使用して、古い機能の出力先を新しい機能に変更します。ライブカーネルパッチがシステムに適用されると、以下が発生します。

1. カーネルパッチモジュールは、**/var/lib/kpatch/** ディレクトリーにコピーされ、次回の起動時に **systemd** を介して、カーネルへの再適用として登録されます。

2. 実行中のカーネルに kpatch モジュールがロードされ、新しいコードのメモリー内の場所を指定するポインターを使用して、新しい機能が **ftrace** メカニズムに登録されます。

3. パッチが当てられた機能にカーネルがアクセスすると、**ftrace** メカニズムにリダイレクトされます。これにより、元々の機能は回避され、パッチを当てたバージョンの機能にカーネルをリダイレクトします。

**図7.1 カーネルライブパッチの仕組み**




## 7.6. 現在インストールされているカーネルをライブパッチストリームにサブスクライブする手順

カーネルパッチモジュールは RPM パッケージに含まれ、パッチが適用されたカーネルバージョンに固有のものとなります。各 RPM パッケージは、徐々に蓄積されていきます。

以下の手順では、指定のカーネルに対して、今後の累積パッチ更新をすべてサブスクライブする方法を説明します。ライブパッチは累積的であるため、特定のカーネルにデプロイされている個々のパッチを選択できません。

**警告**

Red Hat は、Red Hat がサポートするシステムに適用されたサードパーティーのライブパッチをサポートしません。

**前提条件**

- root 権限がある。

**手順**

1. 必要に応じて、カーネルバージョンを確認します。

```
# uname -r
5.14.0-1.el9.x86_64
```

2. カーネルのバージョンに一致するライブパッチパッケージを検索します。

```
# dnf search $(uname -r)
```

3. ライブパッチパッケージをインストールします。

```
# dnf install "kpatch-patch = $(uname -r)"
```

上記のコマンドでは、特定カーネルにのみに最新の累積パッチをインストールし、適用します。

ライブパッチパッケージのバージョンが 1-1 以上である場合には、パッケージにパッチモジュールが含まれます。この場合、ライブパッチパッケージのインストール時に、カーネルにパッチが自動的に適用されます。

カーネルパッチモジュールは、今後の再起動時に **systemd** システムおよびサービスマネージャーにより読み込まれる **/var/lib/kpatch/** ディレクトリーにもインストールされます。

**注記**

指定のカーネルに利用可能なライブパッチがない場合は、空のライブパッチパッケージがインストールされます。空のライブパッチパッケージには、kpatch_version-kpatch_release 0-0 (例: **kpatch-patch-5_14_0-1-0-0.x86_64.rpm**) が含まれます。空の RPM のインストールを行うと、指定のカーネルの将来のすべてのライブパッチにシステムがサブスクライブされます。

**検証**

- インストールされているすべてのカーネルにパッチが当てられていることを確認します。

```
# kpatch list
Loaded patch modules:
kpatch_5_14_0_1_0_1 [enabled]
```

```
Installed patch modules:
kpatch_5_14_0_1_0_1 (5.14.0-1.el9.x86_64)
…
```

この出力は、カーネルパッチモジュールがカーネルに読み込まれていることを示しています。このカーネルには、**kpatch-patch-5_14_0-1-0-1.el9.x86_64.rpm** パッケージで修正された最新のパッチが当てられています。

**注記**

**kpatch list** コマンドを入力しても、空のライブパッチパッケージが返されません。代わりに **rpm -qa | grep kpatch** コマンドを使用します。

```
# rpm -qa | grep kpatch
kpatch-dnf-0.4-3.el9.noarch
kpatch-0.9.7-2.el9.noarch
kpatch-patch-5_14_0-284_25_1-0-0.el9_2.x86_64
```

**関連情報**

- **kpatch(1)** の man ページ
- RHEL 9 コンテンツのインストール

## 7.7. ライブパッチストリームに新しいカーネルを自動的にサブスクライブする手順

**kpatch-dnf** DNF プラグインを使用して、カーネルパッチモジュール (別称 カーネルライブパッチ) が提供する修正にシステムをサブスクライブできます。このプラグインは、現在システムが使用するカーネルと、**今後インストールされる** カーネルの **自動** サブスクリプションを有効にします。

**前提条件**

- root 権限がある。

**手順**

1. 必要に応じて、インストール済みの全カーネルと、現在実行中のカーネルを確認します。

```
# dnf list installed | grep kernel
Updating Subscription Management repositories.
Installed Packages
...
kernel-core.x86_64          5.14.0-1.el9          @beaker-BaseOS
kernel-core.x86_64          5.14.0-2.el9          @@commandline
...

# uname -r
5.14.0-2.el9.x86_64
```

2. **kpatch-dnf** プラグインをインストールします。

```
# dnf install kpatch-dnf
```

3. カーネルライブパッチの自動サブスクリプションを有効にします。

```
# dnf kpatch auto
Updating Subscription Management repositories.
Last metadata expiration check: 1:38:21 ago on Fri 17 Sep 2021 07:29:53 AM EDT.
Dependencies resolved.
================================================
 Package                    Architecture
================================================
Installing:
 kpatch-patch-5_14_0-1      x86_64
 kpatch-patch-5_14_0-2      x86_64

Transaction Summary
================================================
Install  2 Packages
…
```

このコマンドは、現在インストールされているすべてのカーネルをサブスクライブして、カーネルライブパッチを受け取ります。このコマンドは、インストールされている全カーネルに、最新の累積パッチ (存在する場合) をインストールして適用します。

今後、カーネルを更新すると、新しいカーネルのインストールプロセス中にライブパッチが自動的にインストールされます。

カーネルパッチモジュールは、今後の再起動時に **systemd** システムおよびサービスマネージャーにより読み込まれる **/var/lib/kpatch/** ディレクトリーにもインストールされます。

**注記**

指定のカーネルに利用可能なライブパッチがない場合は、空のライブパッチパッケージがインストールされます。空のライブパッチパッケージには、**kpatch_version-kpatch_release** 0-0 (例: **kpatch-patch-5_14_0-1-0-0.el9.x86_64.rpm**) が含まれます。空の RPM のインストールを行うと、指定のカーネルの将来のすべてのライブパッチにシステムがサブスクライブされます。

**検証**

- インストールされているすべてのカーネルにパッチが当てられていることを確認します。

```
# kpatch list
Loaded patch modules:
kpatch_5_14_0_2_0_1 [enabled]

Installed patch modules:
kpatch_5_14_0_1_0_1 (5.14.0-1.el9.x86_64)
kpatch_5_14_0_2_0_1 (5.14.0-2.el9.x86_64)
```

この出力から、実行中のカーネルとインストールされている他のカーネル両方に **kpatch-patch-5_14_0-1-0-1.el9.x86_64.rpm** と **kpatch-patch-5_14_0-2-0-1.el9.x86_64.rpm** パッケージそれぞれからの修正が適用されたことが分かります。

**注記**

**kpatch list** コマンドを入力しても、空のライブパッチパッケージが返されません。代わりに **rpm -qa | grep kpatch** コマンドを使用します。

```
# rpm -qa | grep kpatch
kpatch-dnf-0.4-3.el9.noarch
kpatch-0.9.7-2.el9.noarch
kpatch-patch-5_14_0-284_25_1-0-0.el9_2.x86_64
```

**関連情報**

- **kpatch(1)** および **dnf-kpatch(8)** の man ページ

## 7.8. ライブパッチストリームへの自動サブスクリプションの無効化

カーネルパッチモジュールが提供する修正にシステムをサブスクライブする場合、サブスクリプションは **自動的** です。この機能 (したがって、**kpatch-patch** パッケージの自動インストール) を無効にできます。

**前提条件**

- root 権限がある。

**手順**

1. 必要に応じて、インストール済みの全カーネルと、現在実行中のカーネルを確認します。

```
# dnf list installed | grep kernel
Updating Subscription Management repositories.
Installed Packages
...
kernel-core.x86_64          5.14.0-1.el9          @beaker-BaseOS
kernel-core.x86_64          5.14.0-2.el9          @@commandline
...

# uname -r
5.14.0-2.el9.x86_64
```

2. カーネルライブパッチへの自動サブスクリプションを無効にします。

```
# dnf kpatch manual
Updating Subscription Management repositories.
```

**検証手順**

- 成功した出力を確認できます。

```
# yum kpatch status
...
Updating Subscription Management repositories.
Last metadata expiration check: 0:30:41 ago on Tue Jun 14 15:59:26 2022.
Kpatch update setting: manual
```

**関連情報**

- **kpatch(1)** および **dnf-kpatch(8)** の man ページ

## 7.9. カーネルパッチモジュールの更新

カーネルパッチモジュールが配信され、RPM パッケージを通じて適用されているため、累計のカーネルパッチモジュール更新は、他の RPM パッケージの更新と似ています。

**前提条件**

- 現在インストールされているカーネルをライブパッチストリームにサブスクライブする手順 に従って、システムがライブパッチストリームにサブスクライブされている。

**手順**

- 現在のカーネルの新しい累積バージョンを更新します。

```
# dnf update "kpatch-patch = $(uname -r)"
```

上記のコマンドは、現在実行中のカーネルに利用可能な更新を自動的にインストールし、適用します。これには、新たにリリースされた累計なライブパッチが含まれます。

- もしくは、インストールしたすべてのカーネルパッチモジュールを更新します。

```
# dnf update "kpatch-patch"
```

**注記**

システムが同じカーネルで再起動すると、**kpatch.service** systemd サービスにより、カーネルが自動的に再適用されます。

**関連情報**

- RHEL での **ソフトウェアパッケージの更新**

## 7.10. ライブパッチパッケージの削除

ライブパッチパッケージを削除して、Red Hat Enterprise Linux カーネルライブパッチソリューションを無効にします。

**前提条件**

- root 権限がある。
- ライブパッチパッケージがインストールされている。

**手順**

1. ライブパッチパッケージを選択します。

```
# dnf list installed | grep kpatch-patch
kpatch-patch-5_14_0-1.x86_64        0-1.el9        @@commandline
…
```

上記の出力例は、インストールしたライブパッチパッケージをリスト表示します。

2. ライブパッチパッケージを削除します。

```
# dnf remove kpatch-patch-5_14_0-1.x86_64
```

ライブパッチパッケージが削除されると、カーネルは次回の再起動までパッチが当てられたままになりますが、カーネルパッチモジュールはディスクから削除されます。今後の再起動では、対応するカーネルにはパッチが適用されなくなります。

3. システムを再起動します。

4. ライブパッチパッケージが削除されたことを確認します。

```
# dnf list installed | grep kpatch-patch
```

パッケージが正常に削除された場合、このコマンドでは何も出力されません。

5. 必要に応じて、カーネルのライブパッチソリューションが無効になっていることを確認します。

```
# kpatch list
Loaded patch modules:
```

この出力例では、現在読み込まれているパッチモジュールがないため、カーネルにパッチが適用されておらず、ライブパッチソリューションがアクティブでないことが示されています。

**重要**

現在、Red Hat はシステムの再起動なしで、ライブパッチを元に戻すことはサポートしていません。ご不明な点がございましたら、サポートチームまでお問い合わせください。

**関連情報**

- **kpatch(1)** の man ページ
- RHEL での **インストール済みパッケージの削除**

## 7.11. カーネルパッチモジュールのアンインストール

Red Hat Enterprise Linux カーネルライブパッチソリューションが、以降の起動時にカーネルパッチモジュールを適用しないようにします。

**前提条件**

- root 権限がある。
- ライブパッチパッケージがインストールされている。

- カーネルパッチモジュールがインストールされ、ロードされている。

**手順**

1. カーネルパッチモジュールを選択します。

```
# kpatch list
Loaded patch modules:
kpatch_5_14_0_1_0_1 [enabled]

Installed patch modules:
kpatch_5_14_0_1_0_1 (5.14.0-1.el9.x86_64)
…
```

2. 選択したカーネルパッチモジュールをアンインストールします。

```
# kpatch uninstall kpatch_5_14_0_1_0_1
uninstalling kpatch_5_14_0_1_0_1 (5.14.0-1.el9.x86_64)
```

   - アンインストールしたカーネルモジュールが読み込まれていることに注意してください。

```
# kpatch list
Loaded patch modules:
kpatch_5_14_0_1_0_1 [enabled]

Installed patch modules:
<NO_RESULT>
```

     選択したモジュールをアンインストールすると、カーネルは次回の再起動までパッチが当てられますが、カーネルパッチモジュールはディスクから削除されます。

3. システムを再起動します。

4. 必要に応じて、カーネルパッチモジュールがアンインストールされていることを確認します。

```
# kpatch list
Loaded patch modules:
…
```

   上記の出力例では、ロードまたはインストールされたカーネルパッチモジュールが表示されていません。したがって、カーネルにパッチが適用されておらず、カーネルのライブパッチソリューションはアクティブではありません。

**重要**

現在、Red Hat はシステムの再起動なしで、ライブパッチを元に戻すことはサポートしていません。ご不明な点がございましたら、サポートチームまでお問い合わせください。

**関連情報**

- **kpatch(1)** の man ページ

## 7.12. KPATCH.SERVICE の無効化

Red Hat Enterprise Linux カーネルライブパッチソリューションが、以降の起動時にすべてのカーネルパッチモジュールをグローバルに適用しないようにします。

**前提条件**

- root 権限がある。
- ライブパッチパッケージがインストールされている。
- カーネルパッチモジュールがインストールされ、ロードされている。

**手順**

1. **kpatch.service** が有効化されていることを確認します。

```
# systemctl is-enabled kpatch.service
enabled
```

2. **kpatch.service** を無効にします。

```
# systemctl disable kpatch.service
Removed /etc/systemd/system/multi-user.target.wants/kpatch.service.
```

   - 適用されたカーネルモジュールが依然としてロードされていることに注意してください。

```
# kpatch list
Loaded patch modules:
kpatch_5_14_0_1_0_1 [enabled]

Installed patch modules:
kpatch_5_14_0_1_0_1 (5.14.0-1.el9.x86_64)
```

3. システムを再起動します。
4. 必要に応じて、**kpatch.service** のステータスを確認します。

```
# systemctl status kpatch.service
● kpatch.service - "Apply kpatch kernel patches"
  Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/kpatch.service; disabled; vendor preset: disabled)
  Active: inactive (dead)
```

   この出力テストサンプルでは、**kpatch.service** が無効になっており、実行されていないことを証明しています。したがって、カーネルのライブパッチソリューションはアクティブではありません。

5. カーネルパッチモジュールがアンロードされたことを確認します。

```
# kpatch list
Loaded patch modules:

Installed patch modules:
kpatch_5_14_0_1_0_1 (5.14.0-1.el9.x86_64)
```

上記の出力例では、カーネルパッチモジュールがインストールされていても、カーネルにパッチが適用されていないことを示しています。

**重要**

現在、Red Hat はシステムの再起動なしで、ライブパッチを元に戻すことはサポートしていません。ご不明な点がございましたら、サポートチームまでお問い合わせください。

**関連情報**

- **kpatch(1)** man ページ、systemd の管理

# 第8章 仮想化環境でカーネルパニックのパラメーターを無効のままにする

RHEL 9 に仮想マシンを設定する場合は、仮想マシンで偽ソフトロックアップが発生する可能性があるため、カーネルパラメーター **softlockup_panic** および **nmi_watchdog** を有効にしないでください。また、カーネルパニックは必要ありません。

以下のセクションで、このアドバイスの背後にある理由を見つけてください。

## 8.1. ソフトロックアップとは

ソフトロックアップは、通常、タスクが再スケジュールされずに CPU のカーネル領域で実行しているときにバグによって生じる状況です。また、このタスクは、その他のタスクがその特定の CPU で実行することを許可しません。これにより、警告が、システムコンソールを介してユーザーに表示されます。この問題は、ソフトロックアップの発生 (fire) とも呼ばれます。

**関連情報**

- CPU ソフトロックアップとは

## 8.2. カーネルパニックを制御するパラメーター

ソフトロックの検出時にシステムの動作を制御する、以下のカーネルパラメーターを設定できます。

softlockup_panic

ソフトロックアップが検出されたときにカーネルでパニックを発生させるどうかを制御します。

| タイプ | 値 | Effect |
|---|---|---|
| 整数 | 0 | カーネルが、ソフトロックアップでパニックにならない |
| 整数 | 1 | カーネルが、ソフトロックアップでパニックになる |

RHEL 8 では、この値のデフォルトは 0 です。

システムでパニックを発生させるには、その前にハードロックアップを検出する必要があります。検出は、**nmi_watchdog** パラメーターで制御されます。

nmi_watchdog

ロックアップ検出メカニズム (**watchdogs**) がアクティブかどうかを制御します。このパラメーターは整数型です。

| 値 | Effect |
|---|---|
| 0 | ロックアップ検出を無効にする |
| 1 | ロックアップ検出を有効にする |

ハードロックアップ検出は、各 CPU で割り込みに応答する機能を監視します。

watchdog_thresh

ウォッチドッグの **hrtimer**、NMI イベント、およびソフトロックアップまたはハードロックアップのしきい値を制御します。

| デフォルトのしきい値 | ソフトロックアップのしきい値 |
| --- | --- |
| 10 秒 | 2 * **watchdog_thresh** |

このパラメーターをゼロに設定すると、ロックアップ検出を無効にします。

**関連情報**

- Softlockup detector and hardlockup detector
- カーネル sysctl

## 8.3. 仮想化環境で誤ったソフトロックアップ

ソフトロックアップとは で説明されている物理ホストでのソフトロックアップの発生は、通常、カーネルまたはハードウェアのバグを示しています。仮想化環境のゲストオペレーティングシステムで同じ現象が発生すると、誤った警告が表示される場合があります。

ホストの負荷が重い場合や、メモリーなどの特定リソースに対する競合が多い場合は、通常、ソフトロックアップが誤って発生します。これは、ホストが 20 秒よりも長い期間、ゲストの CPU をスケジュールすることが原因となる場合があります。その後、再度、ホストで実行するようにゲスト CPU がスケジュールされると、タイマーにより発生する **時間ジャンプ** が発生します。タイマーには、ウォッチドッグの **hrtimer** も含まれます。これにより、ゲスト CPU のソフトロックアップを報告できます。

仮想化環境でのソフトロックアップは誤りである可能性があるため、ゲスト CPU でソフトロックアップが報告されたときにシステムパニックを発生させるカーネルパラメーターは有効にしないでください。

**重要**

ゲストのソフトロックアップについて理解するには、ホストがゲストをタスクとしてスケジュールしてから、ゲストが独自のタスクをスケジュールしていることを理解することが重要になります。

**関連情報**

- ソフトロックアップとは
- 仮想マシンコンポーネントおよびその相互作用
- 仮想マシンが BUG: soft lockup を報告する

# 第9章 データベースサーバーのカーネルパラメーターの調整

特定のデータベースアプリケーションのパフォーマンスに影響を与える可能性のあるカーネルパラメーターのセットには、様々なものがあります。データベースサーバーとデータベースの効率的な運用を確保するには、それぞれのカーネルパラメーターを適切に設定します。

## 9.1. データベースサーバーの概要

データベースサーバーは、データベース管理システム (DBMS) の機能を提供するサービスです。DBMS は、データベース管理のためのユーティリティーを提供し、エンドユーザー、アプリケーション、およびデータベースと対話します。

Red Hat Enterprise Linux 9 は、以下のデータベース管理システムを提供します。

- **MariaDB 10.5**
- **MariaDB 10.11** - RHEL 9.4 以降で利用可能
- **MySQL 8.0**
- **PostgreSQL 13**
- **PostgreSQL 15** - RHEL 9.2 以降で利用可能
- **PostgreSQL 16** - RHEL 9.4 以降で利用可能
- **Redis 6**

## 9.2. データベースアプリケーションのパフォーマンスに影響するパラメーター

次のカーネルパラメーターは、データベースアプリケーションのパフォーマンスに影響します。

**fs.aio-max-nr**

サーバー上でシステムが処理できる非同期 I/O 操作の最大数を定義します。

**注記**

**fs.aio-max-nr** パラメーターを増やしても、aio の制限以上を追加することはありません。

**fs.file-max**

システムがインスタンスで対応するファイルハンドル (一時ファイル名または開いているファイルに割り当てられた ID) の最大数を定義します。
カーネルは、アプリケーションからファイルハンドルが要求されるたびに、ファイルハンドルを動的に割り当てます。ただし、カーネルは、そのファイルハンドルがアプリケーションによって解放されたときに解放しません。代わりに、カーネルはこれらのファイルハンドルをリサイクルします。これは、現在使用しているファイルハンドルの数が少なくても、時間の経過とともに割り当てられたファイルハンドルの合計が増加することを意味します。

**kernel.shmall**

システム全体で使用できる共有メモリーページの合計を定義します。メインメモリー全体を使用するには、**kernel.shmall** パラメーターの値が、メインメモリーの合計サイズ以下である必要があります。

kernel.shmmax

Linux プロセスが仮想アドレス空間に割り当てることができる 1 つの共有メモリーセグメントの最大サイズをバイト単位で定義します。

kernel.shmmni

データベースサーバーが処理できる共有メモリーセグメントの最大数を定義します。

net.ipv4.ip_local_port_range

特定のポート番号なしでデータベースサーバーに接続するプログラムにシステムが使用できるポート範囲を定義します。

net.core.rmem_default

TCP (Transmission Control Protocol) を介してデフォルトの受信ソケットメモリーを定義します。

net.core.rmem_max

TCP (Transmission Control Protocol) による最大受信ソケットメモリーを定義します。

net.core.wmem_default

TCP (Transmission Control Protocol) によるデフォルトの送信ソケットメモリーを定義します。

net.core.wmem_max

TCP (Transmission Control Protocol) による最大送信ソケットメモリーを定義します。

vm.dirty_bytes / vm.dirty_ratio

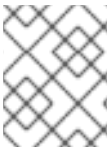
ダーティーデータを生成するプロセスが **write()** 関数で開始するダーティー可能メモリーの割合 (バイト単位) でしきい値を定義します。

注記

一度に指定できるのは、**vm.dirty_bytes または vm.dirty_ratio** の **いずれか** です。

vm.dirty_background_bytes / vm.dirty_background_ratio

カーネルがダーティーデータをハードディスクにアクティブに書き込もうとする、ダーティー可能なメモリーの割合 (バイト単位) でしきい値を定義します。



注記

一度に指定できるのは、**vm.dirty_background_bytes または vm.dirty_background_ratio** の **いずれか** です。

vm.dirty_writeback_centisecs

ハードディスクへのダーティーデータの書き込みを行うカーネルスレッドの起動を定期的に行う間隔を定義します。
このカーネルパラメーターは、100 分の 1 秒単位で測定されます。

vm.dirty_expire_centisecs

ダーティーデータがハードディスクに書き込まれるまでの時間を定義します。
このカーネルパラメーターは、100 分の 1 秒単位で測定されます。

**関連情報**

- Dirty pagecache writeback and vm.dirty parameters

# 第10章 カーネルロギングの使用

ログファイルは、システム (カーネル、サービス、および実行中のアプリケーションなど) に関するメッセージが含まれるファイルです。Red Hat Enterprise Linux におけるロギングシステムは、組み込みの **syslog** プロトコルに基づいています。さまざまなユーティリティーがこのシステムを使用してイベントを記録し、ログファイルにまとめます。このファイルは、オペレーティングシステムの監査や問題のトラブルシューティングに役に立ちます。

## 10.1. カーネルリングバッファーとは

コンソールは、システムの起動プロセス時に、システム起動の初期段階に関する重要な情報を多数提供します。先に出力されたメッセージが失われないように、カーネルではリングバッファーと呼ばれるものが使用されています。このバッファーは、カーネルコード内の **printk()** 関数により生成されるブートメッセージなど、すべてのメッセージを格納します。次に、カーネルリングバッファーからのメッセージは、**syslog** サービスなどの永続ストレージのログファイルに読み込まれ、保存されます。

上記のバッファーは、固定サイズの循環データ構造であり、カーネルにハードコーディングされています。ユーザーは、**dmesg** コマンドまたは **/var/log/boot.log** ファイル介して、カーネルリングバッファーに保存されているデータを表示できます。リングバッファーが満杯になると、新しいデータにより古いデータが上書きされます。

**関連情報**

- **syslog(2)** および **dmesg(1)** の man ページ

## 10.2. ログレベルおよびカーネルロギングにおける PRINTK のロール

カーネルが報告する各メッセージには、メッセージの重要性を定義するログレベルが関連付けられています。カーネルリングバッファーは、カーネルリングバッファーとは で説明されているように、すべてのログレベルのカーネルメッセージを収集します。バッファーからコンソールに出力されるメッセージを定義するのは **kernel.printk** パラメーターです。

ログレベルの値は、以下の順序で分類されます。

0
: カーネルの緊急事態。システムが利用できません。

1
: カーネルアラート。すぐに対処する必要があります。

2
: 重大な問題があると見なされるカーネルの状態。

3
: 一般的なカーネルのエラー状態。

4
: 一般的なカーネルの警告状態。

5
: 正常だが重要な状態に関するカーネル通知。

6
: カーネル情報メッセージ。

7

カーネルのデバッグレベルのメッセージ。

RHEL 9 の **kernel.printk** には、デフォルトで以下の 4 つの値が含まれます。

```
# sysctl kernel.printk
kernel.printk = 7 4 1 7
```

この 4 つの値は、順に以下を定義します。

1. コンソールログレベル。コンソールに出力されるメッセージの最低優先度を定義します。
2. 明示的なログレベルが付いていないメッセージのデフォルトのログレベル。
3. コンソールのログレベルに、可能な限り低いログレベル設定を設定します。
4. 起動時のコンソールのログレベルのデフォルト値を設定します。
   上記の各値は、エラーメッセージを処理するさまざまなルールを定義します。

**重要**

デフォルトの **7 4 1 7 printk** 値を使用することで、カーネルアクティビティーのデバッグを改善できます。ただし、シリアルコンソールと組み合わせると、この **printk** 設定により激しい I/O バーストが発生し、RHEL システムが一時的に応答しなくなる可能性があります。通常 **4 4 1 7** に **printk** 値を設定するとこのような状況を回避できますが、代わりに追加のデバッグ情報が失われてしまいます。

また、**quiet**、**debug** などの特定のカーネルコマンドラインパラメーターにより、デフォルトの **kernel.printk** 値が変更される点に注意してください。

**関連情報**

- **syslog(2)** の man ページ

# 第11章 GRUB の再インストール

GRUB ブートローダーを再インストールすると、GRUB の誤ったインストール、ファイルの欠落、またはシステムの破損によってよく発生する一部の問題を修正できます。これらの問題は、不足しているファイルを復元し、ブート情報を更新することで解決できます。

GRUB を再インストールする理由:

- GRUB ブートローダーパッケージをアップグレードする。
- 別のドライブにブート情報を追加する。
- インストール済みのオペレーティングシステムを制御するために、ユーザーが GRUB ブートローダーを必要としている。ただし、一部のオペレーティングシステムには独自のブートローダーがインストールされており、GRUB を再インストールすると、目的のオペレーティングシステムに制御権限が戻されます。

**注記**

GRUB は、ファイルが破損していない場合にのみファイルを復元します。

## 11.1. BIOS ベースマシンへの GRUB の再インストール

BIOS ベースのシステムに GRUB ブートローダーを再インストールできます。GRUB パッケージを更新した後は必ず GRUB を再インストールしてください。

**重要**

これにより、既存の GRUB が上書きされ、新しい GRUB がインストールされます。インストール中にシステムでデータの破損やブートクラッシュが発生しないようにしてください。

**手順**

1. GRUB がインストールされているデバイスに GRUB を再インストールします。たとえば、**sda** がデバイスの場合は、以下のようになります。

```
# grub2-install /dev/sda
```

2. システムを再起動して、変更を有効にします。

```
# reboot
```

**関連情報**

- **grub-install(1)** man ページ

## 11.2. UEFI ベースマシンへの GRUB の再インストール

UEFI ベースのシステムに GRUB ブートローダーを再インストールできます。

**重要**

インストール中にシステムでデータの破損やブートクラッシュが発生しないようにしてください。

**手順**

1. **grub2-efi** および **shim** ブートローダーファイルを再インストールします。

```
# yum reinstall grub2-efi shim
```

2. システムを再起動して、変更を有効にします。

```
# reboot
```

## 11.3. IBM POWER マシンへの GRUB の再インストール

IBM Power システムの Power PC Reference Platform (PReP) ブートパーティションに GRUB ブートローダーを再インストールできます。GRUB パッケージを更新した後は必ず GRUB を再インストールしてください。

**重要**

これにより、既存の GRUB が上書きされ、新しい GRUB がインストールされます。インストール中にシステムでデータの破損やブートクラッシュが発生しないようにしてください。

**手順**

1. GRUB が格納されているディスクパーティションを特定します。

```
# bootlist -m normal -o
sda1
```

2. ディスクパーティションに GRUB を再インストールします。

```
# grub2-install partition
```

**partition** は、前のステップで特定した GRUB パーティション (**/dev/sda1** など) に置き換えます。

3. システムを再起動して、変更を有効にします。

```
# reboot
```

**関連情報**

- **grub-install(1)** man ページ

## 11.4. GRUB のリセット

GRUB をリセットすると、すべての GRUB 設定ファイルとシステム設定が完全に削除され、ブートローダーが再インストールされます。すべての構成設定をデフォルト値にリセットして、破損したファイルや不適切な設定によって引き起こされた障害を修正できます。

**重要**

次の手順では、ユーザーが行ったすべてのカスタマイズを削除します。

**手順**

1. 設定ファイルを削除します。

```
# rm /etc/grub.d/*
# rm /etc/sysconfig/grub
```

2. パッケージを再インストールします。
   - BIOS ベースのマシンで、次のように入力します。

```
# yum reinstall grub2-tools
```

   - UEFI ベースのマシンでは、次のように入力します。

```
# yum reinstall grub2-efi shim grub2-tools
```

3. 変更を有効にするために **grub.cfg** ファイルを再ビルドします。
   - BIOS ベースのマシンで、次のように入力します。

```
# grub2-mkconfig -o /boot/grub2/grub.cfg
```

   - UEFI ベースのマシンでは、次のように入力します。

```
# grub2-mkconfig -o /boot/efi/EFI/redhat/grub.cfg
```

4. GRUB の再インストール 手順に従って、**/boot/** パーティションに GRUB を復元します。

# 第12章 KDUMP のインストール

Red Hat Enterprise Linux 9 の新しいバージョンのインストールでは、デフォルトで **kdump** サービスがインストールされ有効になっています。**kdump** の概要、および **kdump** がデフォルトで有効になっていない場合のインストール方法について、情報を提供して手順を説明します。

## 12.1. KDUMP とは

**kdump** は、クラッシュダンプメカニズムを提供し、クラッシュダンプまたは **vmcore** ファイルとして知られるダンプファイルを生成するサービスです。**vmcore** ファイルには、分析とトラブルシューティングに役立つシステムメモリーの内容が含まれます。**kdump** は **kexec** システムコールを使用して、再起動せずに別のカーネル (**キャプチャーカーネル**) を起動し、クラッシュしたカーネルのメモリーの内容をキャプチャーしてファイルに保存します。この別のカーネルは、システムメモリーの予約部分で使用できます。

**重要**

カーネルクラッシュダンプは、システム障害時に利用できる唯一の情報になります。したがって、ミッションクリティカルな環境では、**kdump** を稼働させることが重要です。Red Hat は、通常のカーネル更新サイクルで **kexec-tools** を定期的に更新してテストすることを推奨します。これは、新しいカーネル機能をインストールする場合に特に重要です。

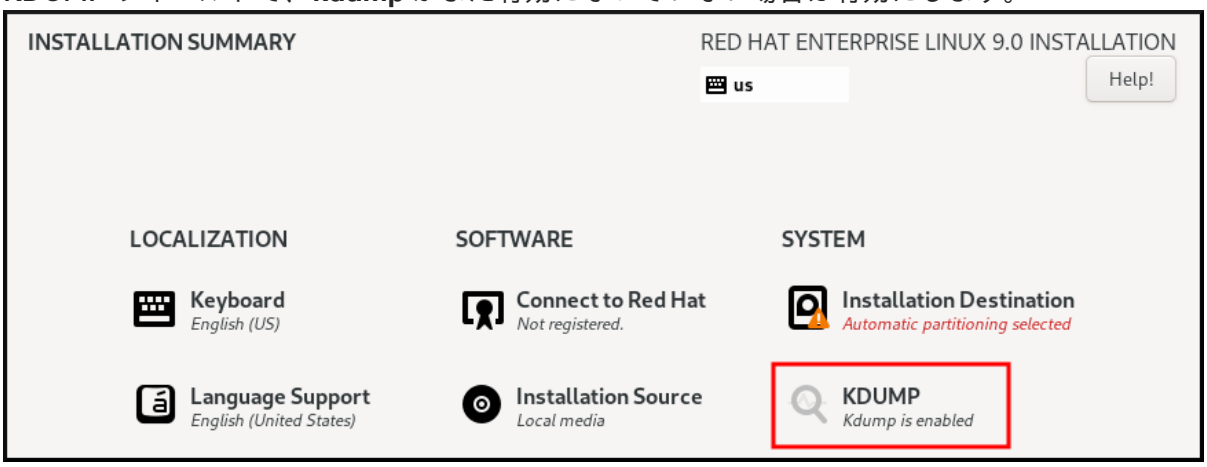
**kdump** は、マシンにインストールされているすべてのカーネルに対して、または指定したカーネルに対してのみ有効にできます。これは、マシンで複数のカーネルが使用されており、その一部が安定しており、クラッシュの心配がない場合に役立ちます。**kdump** をインストールすると、デフォルトの **/etc/kdump.conf** ファイルが作成されます。**/etc/kdump.conf** ファイルにはデフォルトの最小 **kdump** 設定が含まれており、これを編集して **kdump** 設定をカスタマイズできます。

## 12.2. ANACONDA を使用した KDUMP のインストール

Anaconda インストーラーでは、対話式インストール時に **kdump** 設定用のグラフィカルインターフェイス画面が表示されます。インストーラー画面のタイトルは KDUMP で、メインの **インストールの概要** 画面から利用できます。**kdump** を有効にして、必要な量のメモリーを予約できます。

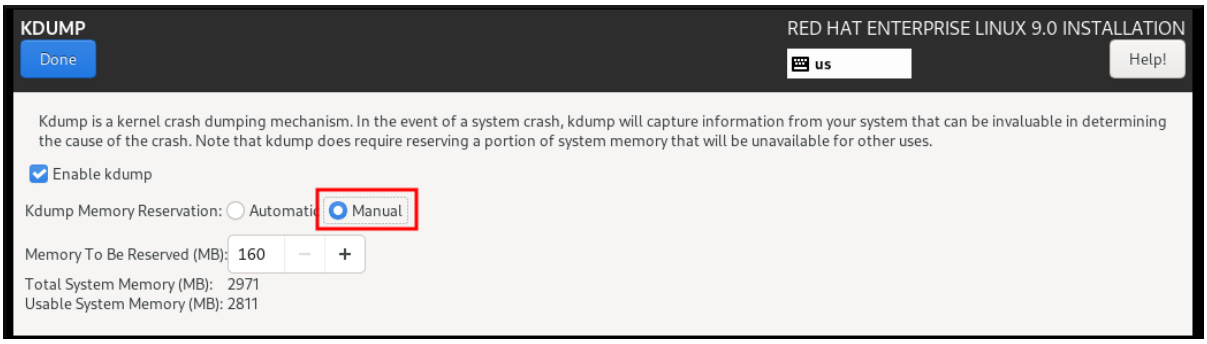
**手順**

1. KDUMP フィールドで、**kdump** がまだ有効になっていない場合は有効にします。




2. メモリー予約をカスタマイズする必要がある場合は、Kdump Memory Reservation で Manual を選択します。

3. KDUMP フィールドの **Memory To Be Reserved (MB)** で、**kdump** に必要なメモリー予約を設定します。




## 12.3. コマンドラインで KDUMP のインストール

カスタムの **Kickstart** インストールなどの一部のインストールオプションでは、デフォルトで **kdump** がインストールまたは有効化**されない**場合があります。この場合は、以下の手順を行ってください。

### 前提条件

- アクティブな RHEL サブスクリプションがある。
- システムの CPU アーキテクチャー用の **kexec-tools** パッケージを含むリポジトリーがある。
- **kdump** 設定とターゲットの要件をすべて満たしている。詳細は 対応している kdump 設定とターゲット を参照してください。

### 手順

1. **kdump** がシステムにインストールされているかどうかを確認します。

```
# rpm -q kexec-tools
```

このパッケージがインストールされている場合は以下を出力します。

```
# kexec-tools-2.0.22-13.el9.x86_64
```

このパッケージがインストールされていない場合は以下を出力します

```
package kexec-tools is not installed
```

2. **kdump** および必要なパッケージをインストールします。

```
# dnf install kexec-tools
```

# 第13章 コマンドラインで KDUMP の設定

**kdump** 用メモリーは、システムの起動時に予約されます。メモリーサイズは、システムの GRUB (Grand Unified Bootloader) 設定ファイルで設定されています。メモリーサイズは、設定ファイルで指定された **crashkernel=** 値と、システムの物理メモリーのサイズにより異なります。

## 13.1. KDUMP サイズの見積もり

**kdump** 環境の計画および構築を行う際に、クラッシュダンプファイルに必要な領域を把握しておくことが重要です。

**makedumpfile --mem-usage** コマンドは、クラッシュダンプファイルに必要な領域を推定し、メモリー使用量に関するレポートを生成します。このレポートは、ダンプレベルと、除外して問題ないページを判断するのに役立ちます。

**手順**

- 次のコマンドを実行して、メモリー使用量に関するレポートを生成します。

```
# makedumpfile --mem-usage /proc/kcore


TYPE        PAGES    EXCLUDABLE    DESCRIPTION
----------------------------------------------------------------
ZERO          501635      yes        Pages filled with zero
CACHE         51657       yes        Cache pages
CACHE_PRIVATE 5442        yes        Cache pages + private
USER          16301       yes        User process pages
FREE          77738211    yes        Free pages
KERN_DATA     1333192     no         Dumpable kernel data
```

**重要**

**makedumpfile --mem-usage** は、必要なメモリーをページ単位で報告します。つまり、カーネルページサイズを元に、使用するメモリーのサイズを計算する必要があります。

デフォルトでは、RHEL カーネルは、AMD64 および Intel 64 の CPU アーキテクチャーで 4KB のサイズのページを使用し、IBM POWER アーキテクチャーで 64KB のサイズのページを使用します。

## 13.2. RHEL 9 での KDUMP メモリー使用量の設定

**kexec-tools** パッケージは、デフォルトの **crashkernel=** メモリー予約値を維持します。**kdump** サービスはデフォルト値を使用して、各カーネルのクラッシュカーネルメモリーを予約します。デフォルト値は、**crashkernel=** 値を手動で設定するときに必要なメモリーサイズを見積もるための基準値としても機能します。クラッシュカーネルの最小サイズは、ハードウェアおよびマシンの仕様により異なります。

また、**kdump** の自動メモリー割り当ては、システムハードウェアアーキテクチャーと利用可能なメモリーサイズにより異なります。たとえば、AMD および Intel 64 ビットアーキテクチャーでは、**crashkernel=** パラメーターのデフォルト値は、使用可能なメモリーが 1 GB を超える場合にのみ機能します。**kexec-tools** ユーティリティーは、AMD64 および Intel 64 ビットアーキテクチャーで次のデフォルトのメモリー予約を設定します。

■

```
crashkernel=1G-4G:192M,4G-64G:256M,64G:512M
```

**kdumpctl estimate** を実行して、クラッシュをトリガーせずに大まかな見積もり値をクエリーすることもできます。予測される **crashkernel=** 値は正確でない可能性がありますが、適切な **crashkernel=** 値を設定するための参照として利用できます。

**注記**

起動コマンドラインの **crashkernel=auto** オプションは、RHEL 9 以降のリリースでは対応しなくなりました。

**前提条件**

- システムの root 権限がある。
- **kdump** の設定とターゲットの要件をすべて満たしている。詳細は 対応している kdump 設定とターゲット を参照してください。
- IBM Z システムの場合は、**zipl** ユーティリティーがインストールされている。

**手順**

1. クラッシュカーネルのデフォルト値を設定します。

```
# kdumpctl reset-crashkernel --kernel=ALL
```

**crashkernel=** 値を設定する場合は、**kdump** を有効にして再起動し、設定をテストします。**kdump** カーネルの起動に失敗した場合は、メモリーサイズを徐々に増やして許容可能な値を設定します。

2. カスタムの **crashkernel=** 値を使用するには、以下を実行します。

   a. 必要なメモリー予約を設定します。

```
crashkernel=192M
```

   あるいは、構文 **crashkernel=<range1>:<size1>,<range2>:<size2>** を使用して、予約メモリーの量を、インストールされているメモリーの合計量に応じて変動する値に設定することもできます。以下に例を示します。

```
crashkernel=1G-4G:192M,2G-64G:256M
```

   この例では、システムメモリーの合計量が 1 GB 以上 4 GB 未満の場合、192 MB のメモリーが予約されます。メモリーの合計量が 4 GB を超える場合、256 MB が **kdump** 用に予約されます。

   b. (オプション) 予約済みメモリーをオフセットします。
   crashkernel 予約は非常に早いため、特定の固定オフセットでメモリーを予約する必要があるシステムもあります。また、特別な用途にいくつかの領域を予約したいシステムもあります。オフセットが設定されると、予約メモリーはそこから開始されます。予約メモリーをオフセットするには、以下の構文を使用します。

```
crashkernel=192M@16M
```

この例では、16 MB (物理アドレス 0x01000000) から始まる 192 MB のメモリーを予約します。オフセットを 0 に設定するか、値を指定しない場合、**kdump** は予約されたメモリーを自動的にオフセットします。オフセットを最後の値として指定することにより、変数メモリー予約を設定するときにメモリーをオフセットすることもできます。たとえば、**crashkernel=1G-4G:192M,2G-64G:256M@16M** です。

c. ブートローダー設定を更新します。

```
# grubby --update-kernel ALL --args "crashkernel=<custom-value>"
```

**<custom-value>** には、クラッシュカーネル用に設定したカスタムの **crashkernel=** 値を含める必要があります。

3. 変更を有効にするために再起動します。

```
# reboot
```

**検証**

**sysrq** キーをアクティブ化してカーネルをクラッシュさせます。**address-YYYY-MM-DD-HH:MM:SS/vmcore** ファイルは、**/etc/kdump.conf** ファイルで指定されているターゲットの場所に保存されます。デフォルトのターゲットの場所を選択した場合、**vmcore** ファイルは **/var/crash/** の下にマウントされたパーティションに保存されます。

**警告**

**kdump** 設定をテストするコマンドにより、カーネルがクラッシュし、データが失われます。注意して指示に従い、kdump 設定のテストにアクティブな実稼働システムを使用しないでください。

1. **sysrq** キーをアクティブ化して、**kdump** カーネルを起動します。

```
# echo c > /proc/sysrq-trigger
```

このコマンドによりカーネルがクラッシュし、必要に応じてカーネルが再起動されます。

2. **/etc/kdump.conf** ファイルを表示し、ターゲットの保存先に **vmcore** ファイルが保存されているかどうかを確認します。

**関連情報**

- システムを起動する前に、grub で boot パラメーターを手動で変更する
- **grubby(8)** man ページ

## 13.3. KDUMP ターゲットの設定

クラッシュダンプは通常、ローカルファイルシステムにファイルとして保存され、デバイスに直接書き込まれます。または、**NFS** プロトコルまたは **SSH** プロトコルを使用して、ネットワーク経由でクラッシュダンプを送信するように設定できます。クラッシュダンプファイルを保存するオプションは、一度

に 1 つだけ設定できます。デフォルトの動作では、ローカルファイルシステムの **/var/crash/** ディレクトリーに保存されます。

**前提条件**

- システムの root 権限がある。
- **kdump** 設定とターゲットの要件をすべて満たしている。詳細は 対応している kdump 設定とターゲット を参照してください。

**手順**

- ローカルファイルシステムの **/var/crash/** ディレクトリーにクラッシュダンプファイルを保存するには、**/etc/kdump.conf** ファイルを変更して、パスを指定します。

```
path /var/crash
```

**path /var/crash** オプションは、**kdump** がクラッシュダンプファイルを保存するファイルシステムへのパスを表します。

**注記**

- **/etc/kdump.conf** ファイルでダンプターゲットを指定すると、path は指定されたダンプ出力先に対する相対パスになります。
- **/etc/kdump.conf** ファイルでダンプターゲットを指定しない場合、パスはルートディレクトリーからの **絶対** パスを表します。

現在のシステムにマウントされている内容に応じて、ダンプターゲットと調整されたダンプパスが自動的に適用されます。

**kdump** によって生成されるクラッシュダンプファイルと付随するファイルを保護するには、ユーザー権限や SELinux コンテキストなど、ターゲットの宛先ディレクトリーの属性を適切に設定する必要があります。さらに、次のように **kdump.conf** ファイルで **kdump_post.sh** などのスクリプトを定義することもできます。

```
kdump_post <path_to_kdump_post.sh>
```

**kdump_post** ディレクティブは、**kdump** がクラッシュダンプの取得と指定の保存先への保存を完了した **後に** 実行されるシェルスクリプトまたはコマンドを指定するものです。このメカニズムを使用すると、**kdump** の機能を拡張して、ファイル権限の調整などの操作を実行できます。

**例13.1 kdump ターゲット設定**

```
# grep -v ^# /etc/kdump.conf | grep -v ^$
ext4 /dev/mapper/vg00-varcrashvol
path /var/crash
core_collector makedumpfile -c --message-level 1 -d 31
```

ここでは、ダンプターゲットが指定されているため (**ext4/dev/mapper/vg00-varcrashvol**)、**/var/crash** にマウントされます。**path** オプションも **/var/crash** に設定されているため、**kdump** は **vmcore** ファイルを **/var/crash/var/crash** ディレクトリーに保存します。

- クラッシュダンプを保存するローカルディレクトリーを変更するには、**root** として **/etc/kdump.conf** 設定ファイルを編集します。

  a. **#path /var/crash** の行頭にあるハッシュ記号 (**#**) を削除します。

  b. 値を対象のディレクトリーパスに置き換えます。以下に例を示します。

  ```
  path /usr/local/cores
  ```

  **重要**

  Red Hat Enterprise Linux 9 では、失敗を避けるために、**path** ディレクティブを使用して **kdump** ターゲットとして定義されたディレクトリーが **kdump systemd** サービスの起動時に存在していなければなりません。この動作は、サービスの起動時にディレクトリーが存在しなかった場合はディレクトリーが自動的に作成されていた RHEL の以前のバージョンとは異なります。

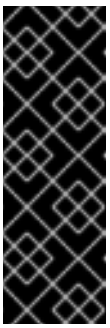
- ファイルを別のパーティションに書き込むには、**/etc/kdump.conf** 設定ファイルを編集します。

  a. 必要に応じて **#ext4** の行頭にあるハッシュ記号 (**#**) を削除します。

  - デバイス名 (**#ext4 /dev/vg/lv_kdump** 行)
  - ファイルシステムラベル (**#0ext4 LABEL=/boot** 行)
  - UUID (**#ext4 UUID=03138356-5e61-4ab3-b58e-27507ac41937** の行)

  b. ファイルシステムタイプとデバイス名、ラベル、または UUID を必要な値に変更します。UUID 値を指定するための正しい構文は、**UUID="correct-uuid"** と **UUID=correct-uuid** の両方です。以下に例を示します。

  ```
  ext4 UUID=03138356-5e61-4ab3-b58e-27507ac41937
  ```

  **重要**

  **LABEL=** または **UUID=** を使用してストレージデバイスを指定することが推奨されます。**/dev/sda3** などのディスクデバイス名は、再起動した場合に一貫性が保証されません。

  IBM Z ハードウェアで Direct Access Storage Device (DASD) を使用する場合は、**kdump** に進む前に、ダンプデバイスが **/etc/dasd.conf** で正しく指定されていることを確認してください。

- クラッシュダンプを直接書き込むには、**/etc/kdump.conf** 設定ファイルを修正します。

  a. **#raw /dev/vg/lv_kdump** の行頭にあるハッシュ記号 (**#**) を削除します。

  b. 値を対象のデバイス名に置き換えます。以下に例を示します。

  ```
  raw /dev/sdb1
  ```

- **NFS** プロトコルを使用してクラッシュダンプをリモートマシンに保存するには、次の手順を実

- NFS プロトコルを使用してクラッシュダンプをリモートマシンに保存するには、次の手順を実行します。

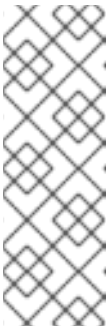
  a. **#nfs my.server.com:/export/tmp** の行頭にあるハッシュ記号 (**#**) を削除します。

  b. 値を、正しいホスト名およびディレクトリーパスに置き換えます。以下に例を示します。

  ```
  nfs penguin.example.com:/export/cores
  ```

  c. 変更を有効にするには、**kdump** サービスを再起動します。

  ```
  sudo systemctl restart kdump.service
  ```

  **注記**

  NFS ディレクティブを使用して NFS ターゲットを指定すると、**kdump.service** が自動的に NFS ターゲットをマウントしてディスク容量をチェックしようとします。事前に NFS ターゲットをマウントする必要はありません。**kdump.service** によるターゲットのマウントを防ぐには、**kdump.conf** で **dracut_args --mount** ディレクティブを使用して、**kdump.service** が NFS ターゲットを指定する **--mount** 引数とともに **dracut** ユーティリティーを呼び出すようにしてください。

- SSH プロトコルを使用してクラッシュダンプをリモートマシンに保存するには、次の手順を実行します。

  a. **#ssh user@my.server.com** の行頭にあるハッシュ記号 (**#**) を削除します。

  b. 値を正しいユーザー名およびホスト名に置き換えます。

  c. SSH キーを設定に含めます。

  i. **#sshkey /root/.ssh/kdump_id_rsa** の行頭にあるハッシュ記号 ("#") を削除します。

  ii. 値を、ダンプ先のサーバー上の正しいキーの場所に変更します。以下に例を示します。

  ```
  ssh john@penguin.example.com
  sshkey /root/.ssh/mykey
  ```

**関連情報**

「システムクラッシュ後に kdump によって生成されるファイル」

## 13.4. KDUMP コアコレクターの設定

**kdump** では、**core_collector** を使用してクラッシュダンプイメージをキャプチャーします。RHEL では、**makedumpfile** ユーティリティーがデフォルトのコアコレクターです。これは、以下に示すプロセスによりダンプファイルを縮小するのに役立ちます。

- クラッシュダンプファイルのサイズを圧縮し、さまざまなダンプレベルを使用して必要なページのみをコピーする
- 不要なクラッシュダンプページを除外する
- クラッシュダンプに含めるページタイプをフィルタリングする

**構文**

```
core_collector makedumpfile -l --message-level 1 -d 31
```

**オプション**

- **-c**、**-l**、または **-p**: **zlib** (**-c** オプションの場合)、**lzo** (**-l** オプションの場合)、または **snappy** (**-p** オプションの場合) のいずれかを使用して、ページごとに圧縮ダンプファイルの形式を指定します。
- **-d (dump_level)**: ページを除外して、ダンプファイルにコピーされないようにします。
- **--message-level**: メッセージタイプを指定します。このオプションで **message_level** を指定すると、出力の表示量を制限できます。たとえば、**message_level** で 7 を指定すると、一般的なメッセージとエラーメッセージを出力します。**message_level** の最大値は 31 です。

**前提条件**

- システムの root 権限がある。
- **kdump** 設定とターゲットの要件をすべて満たしている。詳細は 対応している kdump 設定とターゲット を参照してください。

**手順**

1. **root** で、**/etc/kdump.conf** 設定ファイルを編集し、**#core_collector makedumpfile -l --message-level 1 -d 31** の行頭にあるハッシュ記号 ("#") を削除します。
2. クラッシュダンプファイルの圧縮を有効にするには、以下のコマンドを実行します。

```
core_collector makedumpfile -l --message-level 1 -d 31
```

**-l** オプションにより、**dump** の圧縮ファイル形式を指定します。**-d** オプションで、ダンプレベルを 31 に指定します。**--message-level** オプションで、メッセージレベルを 1 に指定します。

また、**-c** オプションおよび **-p** オプションを使用した以下の例を検討してください。

- **-c** を使用してクラッシュダンプファイルを圧縮するには、以下のコマンドを実行します。

```
core_collector makedumpfile -c -d 31 --message-level 1
```

- **-p** を使用してクラッシュダンプファイルを圧縮するには、以下のコマンドを実行します。

```
core_collector makedumpfile -p -d 31 --message-level 1
```

**関連情報**

- **makedumpfile(8)** の man ページ
- kdump の設定ファイル

## 13.5. KDUMP のデフォルト障害応答の設定

デフォルトでは、設定したターゲットの場所で **kdump** がクラッシュダンプファイルの作成に失敗すると、システムが再起動し、ダンプがプロセス内で失われます。デフォルトの障害応答を変更し、コアダンプをプライマリーターゲットに保存できない場合に別の操作を実行するように **kdump** を設定できます。追加のアクションは次のとおりです。

**dump_to_rootfs**
: コアダンプを **root** ファイルシステムに保存します。

**reboot**
: システムを再起動します。コアダンプは失われます。

**halt**
: システムを停止します。コアダンプは失われます。

**poweroff**
: システムの電源を切ります。コアダンプは失われます。

**shell**
: **initramfs** 内からシェルセッションを実行します。コアダンプを手動で記録できます。

**final_action**
: **kdump** の成功後、またはシェルまたは **dump_to_rootfs** の失敗アクションの完了時に、**reboot**、**halt** および **poweroff** などの追加操作を有効にします。デフォルトは **reboot** です。

**failure_action**
: カーネルクラッシュでダンプが失敗する可能性がある場合に実行するアクションを指定します。デフォルトは **reboot** です。

**前提条件**

- root 権限
- **kdump** 設定とターゲットの要件をすべて満たしている。詳細は 対応している kdump 設定とターゲット を参照してください。

**手順**

1. **root** で、**/etc/kdump.conf** 設定ファイルの **#failure_action** の行頭にあるハッシュ記号 (**#**) を削除します。
2. 値を任意のアクションに置き換えます。

```
failure_action poweroff
```

**関連情報**

- kdump ターゲットの設定

## 13.6. KDUMP の設定ファイル

**kdump** カーネルの設定ファイルは **/etc/sysconfig/kdump** です。このファイルは、**kdump** カーネルコマンドラインパラメーターを制御します。ほとんどの設定では、デフォルトオプションを使用します。ただし、シナリオによっては、**kdump** カーネルの動作を制御するために特定のパラメーターを変更する必要があります。たとえば、**KDUMP_COMMANDLINE_APPEND** オプションを変更して **kdump**

カーネルコマンドラインを追加して詳細なデバッグ出力を取得したり、**KDUMP_COMMANDLINE_REMOVE** オプションを変更して **kdump** コマンドラインから引数を削除したりします。

**KDUMP_COMMANDLINE_REMOVE**

現在の **kdump** コマンドラインから引数を削除します。これにより、**kdump** エラーや **kdump** カーネルブートエラーの原因となるパラメーターが削除されます。このパラメーターは、以前の **KDUMP_COMMANDLINE** プロセスで解析されたか、**/proc/cmdline** ファイルから継承された可能性があります。
この変数が設定されていない場合は、**/proc/cmdline** ファイルからすべての値が継承されます。このオプションを設定すると、問題のデバッグに役立つ情報も提供されます。

特定の引数を削除するには、以下のようにして **KDUMP_COMMANDLINE_REMOVE** に追加します。

```
KDUMP_COMMANDLINE_REMOVE="hugepages hugepagesz slub_debug quiet log_buf_len swiotlb"
```

**KDUMP_COMMANDLINE_APPEND**

このオプションは、現在のコマンドラインに引数を追加します。これらの引数は、以前の **KDUMP_COMMANDLINE_REMOVE** 変数で解析されている可能性があります。
**kdump** カーネルの場合は、**mce**、**cgroup**、**numa**、**hest_disable** などの特定のモジュールを無効にすると、カーネルエラーを防ぐのに役立ちます。これらのモジュールは、**kdump** 用に予約されているカーネルメモリーの大部分を消費したり、**kdump** カーネルの起動に失敗する可能性があります。

**kdump** カーネルコマンドラインでメモリー **cgroup** を無効にするには、以下のコマンドを実行します。

```
KDUMP_COMMANDLINE_APPEND="cgroup_disable=memory"
```

**関連情報**

- **Documentation/admin-guide/kernel-parameters.txt** ファイル
- **/etc/sysconfig/kdump** ファイル

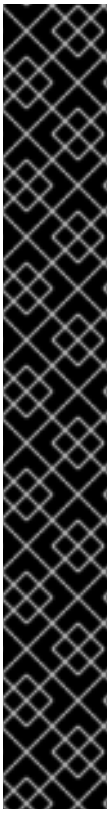
## 13.7. KDUMP 設定のテスト

**kdump** を設定したら、システムクラッシュを手動でテストして、定義した **kdump** ターゲットに **vmcore** ファイルが生成されていることを確認する必要があります。**vmcore** ファイルは、新しく起動したカーネルのコンテキストからキャプチャーされるため、カーネルクラッシュのデバッグに役立つ重要な情報を含みます。

**警告**

アクティブな実稼働システムでは **kdump** をテストしないでください。**kdump** をテストするコマンドにより、カーネルがクラッシュし、データが失われます。システムアーキテクチャーに応じて、十分なメンテナンス時間を必ず確保してください。**kdump** のテストでは時間のかかる再起動が数回必要になる場合があります。

**kdump** のテスト中に **vmcore** ファイルが生成されない場合は、**kdump** のテストを成功させるために、再度テストを実行する前に問題を特定して修正してください。



**重要**

**kdump** のテストでは時間のかかる再起動が数回必要になる場合があるため、十分なメンテナンス時間を確保してください。

手動でシステムを変更した場合は、システム変更の最後に **kdump** 設定をテストする必要があります。たとえば、次のいずれかの変更を行った場合は、最適な **kdump** パフォーマンスを得るために **kdump** 設定を必ずテストしてください。

- パッケージのアップグレード。
- ハードウェアレベルの変更 (ストレージやネットワークの変更など)。
- ファームウェアと BIOS のアップグレード。
- サードパーティーのモジュールを含む新規のインストールおよびアプリケーションのアップグレード。
- ホットプラグメカニズムを使用した、このメカニズムをサポートするハードウェアへのメモリーの追加。
- **/etc/kdump.conf** ファイルまたは **/etc/sysconfig/kdump** ファイルに対する変更。

**前提条件**

- システムの root 権限がある。
- 重要なデータがすべて保存されている。**kdump** をテストするコマンドにより、カーネルがクラッシュし、データが失われます。
- システムアーキテクチャーに応じて、十分なマシンメンテナンス時間が確保されている。

**手順**

1. **kdump** サービスを有効にします。

```
# kdumpctl restart
```

2. **kdump** サービスのステータスを確認します。**kdumpctl** コマンドを使用すると、出力をコンソールに出力できます。

```
# kdumpctl status
  kdump:Kdump is operational
```

あるいは、**systemctl** コマンドを使用すると、出力は **systemd** ジャーナルに出力されます。

3. カーネルクラッシュを開始して、**kdump** 設定をテストします。**sysrq-trigger** キーの組み合わせによりカーネルがクラッシュし、必要に応じてシステムが再起動します。

```
# echo c > /proc/sysrq-trigger
```

カーネルの再起動時に、**/etc/kdump.conf** ファイルで指定した場所に **address-YYYY-MM-DD-HH:MM:SS/vmcore** ファイルが作成されます。デフォルトは **/var/crash/** です。

**関連情報**

- kdump ターゲットの設定

## 13.8. システムクラッシュ後に KDUMP によって生成されるファイル

システムがクラッシュすると、**kdump** サービスは、カーネルメモリーをダンプファイル (**vmcore**) にキャプチャーします。また、トラブルシューティングと事後分析に役立つ追加の診断ファイルを生成します。

**kdump** によって生成されるファイル:

- **vmcore** - クラッシュ時のシステムメモリーを含む主なカーネルメモリーダンプファイル。これには、**kdump** 設定で指定されている **core_collector** プログラムの設定に従ってデータが追加されます。デフォルトでは、カーネルデータ構造、プロセス情報、スタックトレース、およびその他の診断情報が含まれます。
- **vmcore-dmesg.txt** - パニックになったプライマリーカーネルからのカーネルリングバッファーログ (**dmesg**) の内容。
- **kexec-dmesg.log** - **vmcore** データを収集するセカンダリーの **kexec** カーネルの実行に基づくカーネルおよびシステムログメッセージが含まれます。

**関連情報**

- カーネルリングバッファーとは
- kdump とは

## 13.9. KDUMP サービスの有効化および無効化

**kdump** 機能は、特定のカーネルまたはインストールされているすべてのカーネルで有効または無効にするように設定できます。**kdump** 機能を定期的にテストし、適切に動作していることを検証する必要があります。

**前提条件**

- システムの root 権限がある。
- **kdump** の設定とターゲットの要件をすべて満たしている。サポートされている kdump 設定とターゲット を参照してください。

- **kdump** をインストールするためのすべての設定が、要件に応じてセットアップされている。

**手順**

- **multi-user.target** の **kdump** サービスを有効にします。

```
# systemctl enable kdump.service
```

- 現在のセッションでサービスを起動します。

```
# systemctl start kdump.service
```

- **kdump** サービスを停止します。

```
# systemctl stop kdump.service
```

- **kdump** サービスを無効にします。

```
# systemctl disable kdump.service
```

**警告**

**kptr_restrict=1** をデフォルトとして設定することが推奨されます。**kptr_restrict** をデフォルトで (1) に設定すると、**kdumpctl** サービスは、Kernel Address Space Layout (KASLR) が有効または無効であるかに拘らず、クラッシュカーネルを読み込みます。

**kptr_restrict** が **1** に設定されておらず、KASLR が有効になっている場合は、**/proc/kore** ファイルの内容がすべてゼロとして生成されます。**kdumpctl** サービスは、**/proc/kcore** ファイルにアクセスしてクラッシュカーネルを読み込むことができません。**kexec-kdump-howto.txt** ファイルには、**kptr_restrict=1** に設定することを推奨する警告メッセージが表示されます。**kdumpctl** サービスが必ずクラッシュカーネルを読み込むように、**sysctl.conf** ファイルで次の内容を確認します。

- **sysctl.conf** ファイルでのカーネルの **kptr_restrict=1** 設定

## 13.10. カーネルドライバーが KDUMP を読み込まないようにする設定

**/etc/sysconfig/kdump** 設定ファイルに **KDUMP_COMMANDLINE_APPEND=** 変数を追加することで、キャプチャーカーネルが特定のカーネルドライバーをロードしないように制御できます。この方法を使用すると、**kdump** 初期 RAM ディスクイメージ **initramfs** が、指定されたカーネルモジュールをロードするのを防ぐことができます。これにより、メモリー不足 (OOM) killer エラーやその他のクラッシュカーネル障害を防ぐことができます。

以下の設定オプションのいずれかを使用して、**KDUMP_COMMANDLINE_APPEND=** 変数を追加することができます。

- **rd.driver.blacklist=<modules>**

- **modprobe.blacklist=<modules>**

**前提条件**

- システムの root 権限がある。

**手順**

1. 現在実行中のカーネルに読み込まれるモジュールのリストを表示します。読み込みをブロックするカーネルモジュールを選択します。

```
$ lsmod

Module                  Size  Used by
fuse                  126976  3
xt_CHECKSUM            16384  1
ipt_MASQUERADE         16384  1
uinput                 20480  1
xt_conntrack           16384  1
```

2. **/etc/sysconfig/kdump** ファイルの **KDUMP_COMMANDLINE_APPEND=** 変数を更新します。以下に例を示します。

```
KDUMP_COMMANDLINE_APPEND="rd.driver.blacklist=hv_vmbus,hv_storvsc,hv_utils,hv_netvsc,hid-hyperv"
```

**modprobe.blacklist=<modules>** 設定オプションを使用した以下の例も検討してください。

```
KDUMP_COMMANDLINE_APPEND="modprobe.blacklist=emcp modprobe.blacklist=bnx2fc modprobe.blacklist=libfcoe modprobe.blacklist=fcoe"
```

3. **kdump** サービスを再起動します。

```
# systemctl restart kdump
```

**関連情報**

- **dracut.cmdline** の man ページ

## 13.11. 暗号化されたディスクがあるシステムでの KDUMP の実行

LUKS 暗号化パーティションを実行すると、システムで利用可能なメモリーが一定量必要になります。システムが必要なメモリー量を下回ると、**cryptsetup** ユーティリティーがパーティションのマウントに失敗します。その結果、2 番目のカーネル (キャプチャーカーネル) で、暗号化したターゲットの場所に **vmcore** ファイルをキャプチャーできませんでした。

**kdumpctl estimate** コマンドは、**kdump** に必要なメモリーの量を見積もるのに役立ちます。**kdumpctl estimate** 値は、推奨される **crashkernel** 値を出力します。これは、**kdump** に必要な最適なメモリーサイズです。

推奨の **crashkernel** 値は、現在のカーネルサイズ、カーネルモジュール、initramfs、および暗号化したターゲットメモリー要件に基づいて計算されます。

カスタムの **crashkernel=** オプションを使用している場合には、**kdumpctl estimate** は **LUKS required size** 値を出力します。この値は、LUKS 暗号化ターゲットに必要なメモリーサイズです。

**手順**

1. **crashkernel=** の推定値を出力します。

```
# *kdumpctl estimate*

Encrypted kdump target requires extra memory, assuming using the keyslot with minimum memory requirement
  Reserved crashkernel:    256M
  Recommended crashkernel: 652M

  Kernel image size:   47M
  Kernel modules size: 8M
  Initramfs size:      20M
  Runtime reservation: 64M
  LUKS required size:  512M
  Large modules: <none>
  WARNING: Current crashkernel size is lower than recommended size 652M.
```

2. **crashkernel=** の値を増やして、必要なメモリー量を設定します。

3. システムを再起動します。

**注記**

それでも **kdump** がダンプファイルを暗号化したターゲットに保存できない場合は、必要に応じて **crashkernel=** を増やしてください。

# 第14章 KDUMP の有効化

Red Hat Enterprise Linux 9 システムの場合、特定のカーネルまたはインストールされているすべてのカーネルで **kdump** 機能を有効または無効にするように設定できます。ただし、**kdump** 機能を定期的にテストし、適切に動作していることを検証する必要があります。

## 14.1. インストールされているすべてのカーネルでの KDUMP の有効化

**kdump** サービスは、**kexec** ツールのインストール後に **kdump.service** を有効にすることで起動します。マシンにインストールされているすべてのカーネルに対して、**kdump** を有効にして起動できます。

**前提条件**

- 管理者権限がある。

**手順**

1. インストールしたすべてのカーネルに **crashkernel=** コマンドラインパラメーターを追加します。

```
# grubby --update-kernel=ALL --args="crashkernel=xxM"
```

   **xxM** は必要なメモリー (メガバイト単位) です。

2. **kdump** を有効にします。

```
# systemctl enable --now kdump.service
```

**検証**

- **kdump** が実行されていることを確認します。

```
# systemctl status kdump.service

○ kdump.service - Crash recovery kernel arming
     Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/kdump.service; enabled; vendor preset:
disabled)
     Active: active (live)
```

## 14.2. 特定のインストール済みカーネルでの KDUMP の有効化

マシン上の特定カーネルに対して、**kdump** を有効にできます。

**前提条件**

- 管理者権限がある。

**手順**

1. マシンにインストールされているカーネルをリスト表示します。

```
# ls -a /boot/vmlinuz-*
/boot/vmlinuz-0-rescue-2930657cd0dc43c2b75db480e5e5b4a9
/boot/vmlinuz-4.18.0-330.el8.x86_64
/boot/vmlinuz-4.18.0-330.rt7.111.el8.x86_64
```

2. 特定の **kdump** カーネルを、システムの Grand Unified Bootloader (GRUB) 設定に追加します。以下に例を示します。

```
# grubby --update-kernel=vmlinuz-4.18.0-330.el8.x86_64 --args="crashkernel=xxM"
```

**xxM** は必要なメモリー予約 (メガバイト単位) です。

3. **kdump** を有効にします。

```
# systemctl enable --now kdump.service
```

**検証**

- **kdump** が実行されていることを確認します。

```
# systemctl status kdump.service

○ kdump.service - Crash recovery kernel arming
     Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/kdump.service; enabled; vendor preset:
disabled)
     Active: active (live)
```

## 14.3. KDUMP サービスの無効化

**kdump.service** を停止し、Red Hat Enterprise Linux 9 システムでのサービスの起動を無効にすることができます。

**前提条件**

- **kdump** 設定とターゲットの要件をすべて満たしている。詳細は 対応している kdump 設定とターゲット を参照してください。
- **kdump** のインストール用のオプションがすべて、要件に応じて設定されている。詳細は、kdump のインストール を参照してください。

**手順**

1. 現在のセッションで **kdump** を停止するには、以下のコマンドを実行します。

```
# systemctl stop kdump.service
```

2. **kdump** を無効にするには、以下を行います。

```
# systemctl disable kdump.service
```

**警告**

**kptr_restrict=1** をデフォルトとして設定することが推奨されます。**kptr_restrict** をデフォルトで (1) に設定すると、Kernel Address Space Layout (**KASLR**) が有効か無効かにかかわらず、**kdumpctl** サービスはクラッシュカーネルを読み込みます。

**kptr_restrict** が **1** に設定されておらず、**KASLR** が有効になっている場合は、**/proc/kore** ファイルの内容がすべてゼロとして生成されます。**kdumpctl** サービスは、**/proc/kcore** ファイルにアクセスしてクラッシュカーネルを読み込むことができません。**kexec-kdump-howto.txt** ファイルには、**kptr_restrict=1** に設定することを推奨する警告メッセージが表示されます。**kdumpctl** サービスが必ずクラッシュカーネルを読み込むように、**sysctl.conf** ファイルで次の内容を確認します。

- **sysctl.conf** ファイルでのカーネルの **kptr_restrict=1** 設定

**関連情報**

- systemd の管理

# 第15章 サポートされている KDUMP 設定とターゲット

**kdump** メカニズムは、カーネルクラッシュが発生したときにクラッシュダンプファイルを生成する Linux カーネルの機能です。カーネルダンプファイルには、カーネルクラッシュの根本原因を分析して特定するのに役立つ重要な情報が含まれています。クラッシュの原因は、ハードウェアの問題やサードパーティーのカーネルモジュールの問題など、さまざまな要因が考えられます。

下記の情報と手順により、Red Hat Enterprise Linux 9 システムでサポートされている設定とターゲットを理解し、**kdump** を適切に設定して動作を検証できます。

## 15.1. KDUMP メモリー要件

**kdump** がカーネルクラッシュダンプをキャプチャーし、さらなる分析のために保存するには、システムメモリーの一部をキャプチャーカーネル用に永続的に予約しておく必要があります。予約されている場合、システムメモリーのこの部分はメインカーネルでは使用できません。

メモリー要件は、特定のシステムパラメーターによって異なります。主な要因は、システムのハードウェアアーキテクチャーです。正確なマシンアーキテクチャー (Intel 64 や AMD64 (x86_64) など) を調べ、それを標準出力に出力するには、以下のコマンドを使用します。

```
$ uname -m
```

下記の最小メモリー要件のリストを使用して、利用可能な最新バージョンで **kdump** 用のメモリーを自動的に予約するための適切なメモリーサイズを設定できます。メモリーサイズは、システムのアーキテクチャーと利用可能な物理メモリーの合計によって異なります。

**表15.1 kdump 用に必要な最小予約メモリー**

| アーキテクチャー | 使用可能なメモリー | 最小予約メモリー |
|---|---|---|
| AMD64 と Intel 64 (**x86_64**) | 1 GB から 4 GB | 192 MB のメモリー |
| | 4 GB から 64 GB | 256 MB のメモリー |
| | 64 GB 以上 | 512 MB のメモリー |
| 64 ビット ARM (4k ページ) | 1 GB から 4 GB | 256 MB の RAM |
| | 4 GB から 64 GB | 320 MB の RAM |
| | 64 GB 以上 | 576 MB の RAM |
| 64 ビット ARM (64k ページ) | 1 GB から 4 GB | 356 MB の RAM |
| | 4 GB から 64 GB | 420 MB の RAM |
| | 64 GB 以上 | 676 MB の RAM |
| IBM Power Systems (**ppc64le**) | 2 GB から 4 GB | 384 MB のメモリー |

| アーキテクチャー | 使用可能なメモリー | 最小予約メモリー |
|---|---|---|
| | 4 GB から 16 GB | 512 MB のメモリー |
| | 16 GB から 64 GB | 1 GB のメモリー |
| | 64 GB から 128 GB | 2 GB のメモリー |
| | 128 GB 以上 | 4 GB のメモリー |
| IBM Z (**s390x**) | 1 GB から 4 GB | 192 MB のメモリー |
| | 4 GB から 64 GB | 256 MB のメモリー |
| | 64 GB 以上 | 512 MB のメモリー |

多くのシステムでは、**kdump** は必要なメモリー量を予測して、自動的に予約できます。この動作はデフォルトで有効になっていますが、利用可能な合計メモリーサイズが一定以上搭載されているシステムに限られます。この自動割り当て動作に必要なメモリーサイズはシステムのアーキテクチャーによって異なります。

**重要**

システムのメモリー合計量に基づく予約メモリーの自動設定は、ベストエフォート予測です。実際に必要なメモリーは、I/O デバイスなどの他の要素により異なる場合があります。メモリーが十分でない場合は、カーネルパニックが発生したときにデバッグカーネルがキャプチャーカーネルとして起動できなくなる可能性があります。この問題を回避するには、クラッシュカーネルメモリーを十分なサイズにします。

**関連情報**

- テクノロジープレビュー機能および制限の表

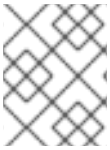
## 15.2. メモリー自動予約の最小しきい値

**kexec-tools** ユーティリティーは、デフォルトで、**crashkernel** コマンドラインパラメーターを設定し、**kdump** 用に一定量のメモリーを予約します。ただし、一部のシステムでは、ブートローダー設定ファイルで **crashkernel=auto** パラメーターを使用するか、グラフィカル設定ユーティリティーでこのオプションを有効にすることで、**kdump** 用のメモリーを割り当てることが可能です。この自動予約を機能させるには、システムで一定量の合計メモリーが使用可能である必要があります。メモリー要件はシステムのアーキテクチャーによって異なります。システムのメモリーが指定のしきい値よりも小さい場合は、メモリーを手動で設定する必要があります。

**表15.2 メモリー予約に必要な最小メモリー量**

| アーキテクチャー | 必要なメモリー |
|---|---|
| AMD64 と Intel 64 (**x86_64**) | 1 GB |

| アーキテクチャー | 必要なメモリー |
| --- | --- |
| IBM Power Systems (**ppc64le**) | 2 GB |
| IBM Z (**s390x**) | 1 GB |
| 64-bit ARM | 1 GB |



**注記**

起動コマンドラインの **crashkernel=auto** オプションは、RHEL 9 以降のリリースでは対応しなくなりました。

## 15.3. サポートしている KDUMP のダンプ出力先

カーネルクラッシュが発生すると、オペレーティングシステムは、設定したダンプ出力先またはデフォルトのダンプ出力先にダンプファイルを保存します。ダンプファイルは、デバイスに直接保存することも、ローカルファイルシステムにファイルとして保存することも、ネットワーク経由で送信することもできます。以下に示すダンプ出力先のリストを使用すると、**kdump** で現在サポートされているダンプ出力先とサポートされていないダンプ出力先を把握できます。

**表15.3 RHEL 9 の kdump のダンプ出力先**

| ダンプ出力先の種類 | 対応しているダンプ出力先 | 対応していないダンプ出力先 |
| --- | --- | --- |

| ダンプ出力先の種類 | 対応しているダンプ出力先 | 対応していないダンプ出力先 |
| --- | --- | --- |
| 物理ストレージ | • 論理ボリュームマネージャー (LVM)<br>• シンプロビジョニングボリューム<br>• ファイバーチャネル (FC) ディスク (**qla2xxx**、**lpfc**、**bnx2fc**、**bfa** など)<br>• ネットワークストレージサーバー上の **iSCSI** ソフトウェア設定の論理デバイス<br>• ソフトウェア **RAID** ソリューションとしての **mdraid** サブシステム<br>• ハードウェア RAID (**smartpqi**、**hpsa**、**megaraid**、**mpt3sas**、**aacraid**、**mpi3mr** など)<br>• **SCSI** および **SATA** ディスク<br>• **iSCSI** および **HBA** オフロード<br>• ハードウェア **FCoE** (**qla2xxx**、**lpfc** など)<br>• ソフトウェア **FCoE** (**bnx2fc** など)。ソフトウェア **FCoE** が機能するには、追加のメモリー設定が必要な場合があります。 | • BIOS RAID<br>• **iBFT** を使用したソフトウェア **iSCSI**。現在対応しているトランスポートは、**bnx2i**、**cxgb3i**、および **cxgb4i** です。<br>• **be2iscsi** などのハイブリッドデバイスドライバーを使用したソフトウェア iSCSI。<br>• イーサネット上ファイバーチャネル (**FCoE**)<br>• レガシー IDE<br>• **GlusterFS** サーバー<br>• **GFS2** ファイルシステム<br>• クラスター化論理ボリュームマネージャー (CLVM)<br>• 高可用性 LVM ボリューム (HA-LVM) |
| Network | • 64 ビットの ARM アーキテクチャーで、**igb**、**ixgbe**、**ice**、**i40e**、**e1000e**、**igc**、**tg3**、**bnx2x**、**bnxt_en**、**qede**、**cxgb4**、**be2net**、**enic**、**sfc**、**mlx4_en**、**mlx5_core**、**r8169**、**atlantic**、**nfp**、**ncvf** などのカーネルモジュールを使用するハードウェアのみ | • **sfc SRIOV**、**cxgb4vf**、**pch_gbe** などのカーネルモジュールを使用するハードウェア<br>• IPv6 プロトコル<br>• ワイヤレス接続<br>• InfiniBand ネットワーク<br>• ブリッジおよびチーム上の VLAN ネットワーク |

| ダンプ出力先の種類 | 対応しているダンプ出力先 | 対応していないダンプ出力先 |
|---|---|---|
| ハイパーバイザー | • カーネルベースの仮想マシン (KVM)<br>• Xen Hypervisor (特定の設定を有するもののみ)<br>• ESXi 6.6、6.7、7.0<br>• Hyper-V 2012 R2 および以降のバージョン (RHEL Gen1 UP ゲストのみ)。 | |
| ファイルシステム | **ext[234]fs**、**XFS**、**virtiofs**、および NFS ファイルシステム | **Btrfs** ファイルシステム |
| ファームウェア | • BIOS ベースのシステム<br>• UEFI セキュアブート | |

**関連情報**

- kdump ターゲットの設定

## 15.4. 対応している KDUMP のフィルターレベル

ダンプファイルのサイズを削減するために、**kdump** は **makedumpfile** コアコレクターを使用してデータを圧縮し、さらに不要な情報を除外します。たとえば、**-8** レベルを使用すると、**hugepages** および **hugetlbfs** ページを削除できます。**makedumpfile** が現在サポートしているレベルは `kdump` **のフィルタリングレベル** の表で確認できます。

**表15.4 kdump のフィルタリングレベル**

| オプション | 説明 |
|---|---|
| **1** | ゼロページ |
| **2** | キャッシュページ |
| **4** | キャッシュプライベート |
| **8** | ユーザーページ |
| **16** | フリーページ |

**関連情報**

- コアコレクターの設定

## 15.5. 対応しているデフォルトの障害応答

デフォルトでは、**kdump** がコアダンプを作成できない場合、オペレーティングシステムが再起動します。ただし、コアダンプをプライマリーターゲットに保存できない場合は、**kdump** が別の操作を実行するように設定できます。

**dump_to_rootfs**

root ファイルシステムにコアダンプの保存を試行します。ネットワーク上のダンプ出力先と併用する場合に特に便利なオプションです。ネットワーク上のダンプ出力先にアクセスできない場合、ローカルにコアダンプを保存するよう kdump の設定を行います。システムは、後で再起動します。

**reboot**

システムを再起動します。コアダンプは失われます。

**halt**

システムを停止します。コアダンプは失われます。

**poweroff**

システムの電源を切ります。コアダンプは失われます。

**shell**

initramfs 内から shell セッションを実行して、ユーザーが手動でコアダンプを記録できるようにします。

**final_action**

**kdump** の成功後、または **shell** または **dump_to_rootfs** の失敗アクションの完了時に、**reboot**、**halt** および **poweroff** アクションなどの追加の操作を有効にします。デフォルトの **final_action** オプションは **reboot** です。

**failure_action**

カーネルがクラッシュした場合にダンプが失敗する可能性がある場合に実行するアクションを指定します。デフォルトの **failure_action** オプションは **reboot** です。

**関連情報**

- kdump のデフォルト障害応答の設定

## 15.6. FINAL_ACTION パラメーターの使用

**kdump** が成功した場合、または **kdump** が設定されたターゲットでの **vmcore** ファイルの保存に失敗した場合は、**final_action** パラメーターを使用して、**reboot**、**halt**、**poweroff** などの追加操作を実行できます。**final_action** パラメーターが指定されていない場合、デフォルトの応答は **reboot** です。

**手順**

1. **final_action** を設定するには、**/etc/kdump.conf** ファイルを編集して、次のいずれかのオプションを追加します。
   - **final_action reboot**
   - **final_action halt**
   - **final_action poweroff**
2. 変更を有効にするには、**kdump** サービスを再起動します。

```
# kdumpctl restart
```

-

## 15.7. FAILURE_ACTION パラメーターの使用

**failure_action** パラメーターは、カーネルがクラッシュした場合にダンプが失敗したときに実行するアクションを指定します。**failure_action** のデフォルトのアクションは **reboot** で、これはシステムを再起動します。

このパラメーターは、実行する以下のアクションを認識します。

**reboot**

ダンプが失敗した後、システムを再起動します。

**dump_to_rootfs**

非ルートダンプターゲットが設定されている場合、ダンプファイルをルートファイルシステムに保存します。

**halt**

システムを停止します。

**poweroff**

システムで実行中の操作を停止します。

**shell**

**initramfs** 内でシェルセッションを開始します。このセッションから、追加のリカバリーアクションを手動で実行できます。

**手順:**

1. ダンプが失敗した場合に実行するアクションを設定するには、**/etc/kdump.conf** ファイルを編集して、**failure_action** オプションの 1 つを指定します。
   - **failure_action reboot**
   - **failure_action halt**
   - **failure_action poweroff**
   - **failure_action shell**
   - **failure_action dump_to_rootfs**
2. 変更を有効にするには、**kdump** サービスを再起動します。

```
# kdumpctl restart
```

# 第16章 ファームウェア支援ダンプの仕組み

ファームウェア支援ダンプ (fadump) は、IBM POWER システムの **kdump** メカニズムの代わりに提供されるダンプ取得メカニズムです。**kexec** および **kdump** のメカニズムは、AMD64 および Intel 64 システムでコアダンプを取得する際に役立ちます。ただし、最小システムやメインフレームコンピューターなどの一部のハードウェアでは、オンボードファームウェアを活用してメモリー領域を分離して、クラッシュ分析に重要なデータが誤って上書きされないようにします。**fadump** ユーティリティーは、**fadump** メカニズムと IBM POWER システム上の RHEL との統合向けに最適化されています。

## 16.1. IBM POWERPC ハードウェアにおけるファームウェア支援ダンプ

**fadump** ユーティリティーは、PCI デバイスおよび I/O デバイスが搭載され、完全にリセットされたシステムから **vmcore** ファイルをキャプチャーします。この仕組みでは、クラッシュするとファームウェアを使用してメモリー領域を保存し、**kdump** ユーザー空間スクリプトをもう一度使用して **vmcore** ファイルを保存します。このメモリー領域には、ブートメモリー、システムレジスター、およびハードウェアのページテーブルエントリー (PTE) を除く、すべてのシステムメモリーコンテンツが含まれます。

**fadump** メカニズムは、パーティションを再起動し、新規カーネルを使用して以前のカーネルクラッシュからのデータをダンプすることで従来のダンプタイプに比べて信頼性が向上されています。**fadump** には、IBM POWER6 プロセッサーベースまたはそれ以降バージョンのハードウェアプラットフォームが必要です。

PowerPC 固有のハードウェアのリセット方法など、**fadump** メカニズムの詳細は、**/usr/share/doc/kexec-tools/fadump-howto.txt** ファイルを参照してください。

**注記**

保持されないメモリー領域はブートメモリーと呼ばれており、この領域はクラッシュ後にカーネルを正常に起動するのに必要なメモリー容量です。デフォルトのブートメモリーサイズは、256 MB または全システム RAM の 5% のいずれか大きい方です。

**kexec** で開始されたイベントとは異なり、**fadump** メカニズムでは実稼働用のカーネルを使用してクラッシュダンプを復元します。PowerPC ハードウェアは、クラッシュ後の起動時に、デバイスノード **/proc/device-tree/rtas/ibm.kernel-dump** が **proc** ファイルシステム (**procfs**) で利用できるようにします。**fadump-aware kdump** スクリプトでは、保存された **vmcore** があるかを確認してから、システムの再起動を正常に完了させます。

## 16.2. ファームウェア支援ダンプメカニズムの有効化

IBM POWER システムのクラッシュダンプ機能は、ファームウェア支援ダンプ (**fadump**) メカニズムを有効にすることで強化できます。

セキュアブート環境では、GRUB ブートローダーは、Real Mode Area (RMA) と呼ばれるブートメモリー領域を割り当てます。RMA のサイズは 512 MB で、ブートコンポーネント間で分割されます。コンポーネントがサイズの割り当てを超えると、GRUB はメモリー不足 (OOM) エラーで失敗します。

**警告**

RHEL 9.1 以前のバージョンのセキュアブート環境では、ファームウェア支援ダンプ (**fadump**) メカニズムを有効にしないでください。GRUB ブートローダーが次のエラーで失敗します。

```
error: ../../grub-core/kern/mm.c:376:out of memory.
Press any key to continue…
```

システムは、**fadump** 設定のためにデフォルトの **initramfs** サイズを増やした場合にのみ回復可能です。

システムを回復するための回避策については、記事 System boot ends in GRUB Out of Memory (OOM) を参照してください。

**前提条件**

- システムの root 権限がある。

**手順**

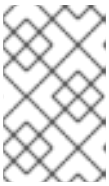
1. **kexec-tools** パッケージをインストールします。
2. **crashkernel** のデフォルト値を設定します。

```
# kdumpctl reset-crashkernel --fadump=on --kernel=ALL
```

3. (オプション) デフォルト値の代わりにブートメモリーを予約します。

```
# grubby --update-kernel ALL --args="fadump=on crashkernel=xxM"
```

**xxM** は必要なメモリーサイズ (メガバイト単位) です。



**注記**

ブート設定オプションを指定するときは、**kdump** を有効にしてカーネルを再起動して設定をテストします。**kdump** カーネルの起動に失敗した場合は、**crashkernel** の値を徐々に増やして、適切な値を設定します。

4. 変更を有効にするために再起動します。

```
# reboot
```

## 16.3. IBM Z ハードウェアにおけるファームウェア支援ダンプの仕組み

IBM Z システムは、以下のファームウェア支援ダンプメカニズムをサポートします。

- **スタンドアロンダンプ (sadump)**

- **VMDUMP**

IBM Z システムでは、**kdump** インフラストラクチャーはサポート対象で、使用されています。ただし、IBM Z にファームウェア支援ダンプ (fadump) を使用すると、さまざまな利点が得られます。

- **sadump** メカニズムはシステムコンソールで開始および制御され、**IPL** 起動可能なデバイスに保存されます。
- **VMDUMP** メカニズムは **sadump** に似ています。このツールもシステムコンソールから開始しますが、ハードウェアから生成されたダンプを取得して解析用にシステムにコピーします。
- (他のハードウェアベースのダンプメカニズムと同様に) これらの手法では、(**kdump** サービスが開始される前の) 起動初期段階におけるマシンの状態をキャプチャーできます。
- **VMDUMP** には、ハードウェアからコピーしたダンプファイルを Red Hat Enterprise Linux システムに格納する仕組みがありますが、IBM Z ハードウェアコンソールから、**VMDUMP** の設定および制御が管理されます。

**関連情報**

- Red Hat Enterprise Linux 8.5 でのダンプツールの使用
- スタンドアロンダンプ
- VMDUMP を使用した z/VM でのダンプの作成

## 16.4. FUJITSU PRIMEQUEST システムにおける SADUMP の使用

Fujitsu **sadump** メカニズムは、**kdump** が正常に完了しないイベントで **fallback** ダンプキャプチャーを提供するように設計されています。**sadump** メカニズムは、システムの ManageMent Board (MMB) インターフェイスから手動で呼び出します。MMB を使用して、Intel 64 または AMD 64 サーバーの場合と同様に **kdump** を設定し、**sadump** を有効にします。

**手順**

1. **sadump** に対して **kdump** が予想どおりに起動するように **/etc/sysctl.conf** ファイルで以下の行を追加または編集します。

```
kernel.panic=0
kernel.unknown_nmi_panic=1
```

**警告**

特に、**kdump** の後にシステムが再起動しないようにする必要があります。**kdump** が **vmcore** ファイルの保存に失敗した後にシステムが再起動すると、**sadump** を呼び出すことができなくなります。

2. **/etc/kdump.conf** の **failure_action** パラメーターを **halt** または **shell** として適切に設定します。

```
failure_action shell
```

**関連情報**

- FUJITSU Server PRIMEQUEST 2000 Series インストールマニュアル

# 第17章 コアダンプの分析

システムクラッシュの原因を確認するには、**crash** ユーティリティーを使用します。これにより、GDB (GNU Debugger) と非常によく似たインタラクティブなプロンプトを利用できます。このユーティリティーでは、**kdump**、**netdump**、**diskdump**、または **xendump** によって作成されたコアダンプ、実行中の Linux システムなどをインタラクティブに分析できます。または、Kernel Oops Analyzer または Kdump Helper ツールを使用する選択肢もあります。

## 17.1. CRASH ユーティリティーのインストール

**crash** ユーティリティーをインストールするために必要なパッケージと手順を説明します。**crash** ユーティリティーは、デフォルトでは Red Hat Enterprise Linux 9 システムにインストールされない可能性があります。**crash** は、システムの実行中、またはカーネルクラッシュが発生してコアダンプファイルが作成された後に、システムの状態を対話的に分析するツールです。コアダンプファイルは、**vmcore** ファイルとも呼ばれます。

**手順**

1. 関連するリポジトリーを有効にします。

```
# subscription-manager repos --enable baseos repository
```

```
# subscription-manager repos --enable appstream repository
```

```
# subscription-manager repos --enable rhel-9-for-x86_64-baseos-debug-rpms
```

2. **crash** パッケージをインストールします。

```
# dnf install crash
```

3. **kernel-debuginfo** パッケージをインストールします。

```
# dnf install kernel-debuginfo
```

パッケージ **kernel-debuginfo** は実行中のカーネルに対応し、ダンプ分析に必要なデータを提供します。

## 17.2. CRASH ユーティリティーの実行および終了

**crash** ユーティリティーを実行および終了するために必要なパラメーターと手順を説明します。**crash** は、システムの実行中、またはカーネルクラッシュが発生してコアダンプファイルが作成された後に、システムの状態を対話的に分析するツールです。コアダンプファイルは、**vmcore** ファイルとも呼ばれます。

**前提条件**

- 現在実行しているカーネルを特定します (**5.14.0-1.el9.x86_64** など)。

**手順**

1. **crash** ユーティリティーを起動するには、2 つの必要なパラメーターをコマンドに渡す必要があります。

- debug-info (圧縮解除された vmlinuz イメージ) (特定の **kernel-debuginfo** パッケージに含まれる **/usr/lib/debug/lib/modules/5.14.0-1.el9.x86_64/vmlinux** など)
- 実際の vmcore ファイル (例: **/var/crash/127.0.0.1-2021-09-13-14:05:33/vmcore**)
その結果の **crash** コマンドの以下のようになります。

```
# crash /usr/lib/debug/lib/modules/5.14.0-1.el9.x86_64/vmlinux /var/crash/127.0.0.1-2021-09-13-14:05:33/vmcore
```

**kdump** で取得したのと同じ **<kernel>** のバージョンを使用します。

**例17.1 crash ユーティリティーの実行**

以下の例は、5.14.0-1.el9.x86_64 カーネルを使用して 2021 年 9 月 13 日の 14:05 PM に作成されたコアダンプを分析する方法を示しています。

```
...
WARNING: kernel relocated [202MB]: patching 90160 gdb minimal_symbol values

      KERNEL: /usr/lib/debug/lib/modules/5.14.0-1.el9.x86_64/vmlinux
    DUMPFILE: /var/crash/127.0.0.1-2021-09-13-14:05:33/vmcore  [PARTIAL DUMP]
        CPUS: 2
        DATE: Mon Sep 13 14:05:16 2021
      UPTIME: 01:03:57
LOAD AVERAGE: 0.00, 0.00, 0.00
       TASKS: 586
    NODENAME: localhost.localdomain
     RELEASE: 5.14.0-1.el9.x86_64
     VERSION: #1 SMP Wed Aug 29 11:51:55 UTC 2018
     MACHINE: x86_64  (2904 Mhz)
      MEMORY: 2.9 GB
       PANIC: "sysrq: SysRq : Trigger a crash"
         PID: 10635
     COMMAND: "bash"
        TASK: ffff8d6c84271800  [THREAD_INFO: ffff8d6c84271800]
         CPU: 1
       STATE: TASK_RUNNING (SYSRQ)

crash>
```

2. 対話型プロンプトを終了して **crash** を停止するには、**exit** または **q** と入力します。

**例17.2 crash ユーティリティーの終了**

```
crash> exit
~]#
```

**注記**

**crash** コマンドは、ライブシステムをデバッグする強力なツールとして使用することもできます。ただし、システムを破損しないように注意してください。

**関連情報**

- 予期しないシステムの再起動のガイド

## 17.3. CRASH ユーティリティーのさまざまなインジケーターの表示

**crash** ユーティリティーを使用して、カーネルメッセージバッファー、バックトレース、プロセスステータス、仮想メモリー情報、開いているファイルなど、さまざまなインジケータを表示します。

**メッセージバッファーの表示**

- カーネルメッセージバッファーを表示するには、対話式プロンプトで **log** コマンドを入力します。

```
crash> log
... several lines omitted ...
EIP: 0060:[<c068124f>] EFLAGS: 00010096 CPU: 2
EIP is at sysrq_handle_crash+0xf/0x20
EAX: 00000063 EBX: 00000063 ECX: c09e1c8c EDX: 00000000
ESI: c0a09ca0 EDI: 00000286 EBP: 00000000 ESP: ef4dbf24
 DS: 007b ES: 007b FS: 00d8 GS: 00e0 SS: 0068
Process bash (pid: 5591, ti=ef4da000 task=f196d560 task.ti=ef4da000)
Stack:
 c068146b c0960891 c0968653 00000003 00000000 00000002 efade5c0 c06814d0
<0> fffffffb c068150f b7776000 f2600c40 c0569ec4 ef4dbf9c 00000002 b7776000
<0> efade5c0 00000002 b7776000 c0569e60 c051de50 ef4dbf9c f196d560 ef4dbfb4
Call Trace:
 [<c068146b>] ? __handle_sysrq+0xfb/0x160
 [<c06814d0>] ? write_sysrq_trigger+0x0/0x50
 [<c068150f>] ? write_sysrq_trigger+0x3f/0x50
 [<c0569ec4>] ? proc_reg_write+0x64/0xa0
 [<c0569e60>] ? proc_reg_write+0x0/0xa0
 [<c051de50>] ? vfs_write+0xa0/0x190
 [<c051e8d1>] ? sys_write+0x41/0x70
 [<c0409adc>] ? syscall_call+0x7/0xb
Code: a0 c0 01 0f b6 41 03 19 d2 f7 d2 83 e2 03 83 e0 cf c1 e2 04 09 d0 88 41 03 f3 c3 90 c7
05 c8 1b 9e c0 01 00 00 00 0f ae f8 89 f6 <c6> 05 00 00 00 00 01 c3 89 f6 8d bc 27 00 00 00
00 8d 50 d0 83
EIP: [<c068124f>] sysrq_handle_crash+0xf/0x20 SS:ESP 0068:ef4dbf24
CR2: 0000000000000000
```

このコマンドの使用方法についての詳しい情報を参照するには、**help log** と入力してください。

**注記**

カーネルメッセージバッファーには、システムクラッシュに関する最も重要な情報が含まれています。したがって、これは常に最初に **vmcore-dmesg.txt** ファイルにダンプされます。これは、たとえば、ターゲットの場所にスペースがないために、 **vmcore** ファイル全体の取得試行に失敗するときに便利です。デフォルトでは、**vmcore-dmesg.txt** は **/var/pkcs/directory/** あります。

**バックトレースの表示**

- カーネルスタックトレースを表示するには、**bt** コマンドを使用します。

```
crash> bt
PID: 5591   TASK: f196d560  CPU: 2   COMMAND: "bash"
 #0 [ef4dbdcc] crash_kexec at c0494922
 #1 [ef4dbe20] oops_end at c080e402
 #2 [ef4dbe34] no_context at c043089d
 #3 [ef4dbe58] bad_area at c0430b26
 #4 [ef4dbe6c] do_page_fault at c080fb9b
 #5 [ef4dbee4] error_code (via page_fault) at c080d809
    EAX: 00000063  EBX: 00000063  ECX: c09e1c8c  EDX: 00000000  EBP: 00000000
    DS:  007b      ESI: c0a09ca0  ES:  007b      EDI: 00000286  GS:  00e0
    CS:  0060      EIP: c068124f  ERR: ffffffff  EFLAGS: 00010096
 #6 [ef4dbf18] sysrq_handle_crash at c068124f
 #7 [ef4dbf24] __handle_sysrq at c0681469
 #8 [ef4dbf48] write_sysrq_trigger at c068150a
 #9 [ef4dbf54] proc_reg_write at c0569ec2
#10 [ef4dbf74] vfs_write at c051de4e
#11 [ef4dbf94] sys_write at c051e8cc
#12 [ef4dbfb0] system_call at c0409ad5
    EAX: ffffffda  EBX: 00000001  ECX: b7776000  EDX: 00000002
    DS:  007b      ESI: 00000002  ES:  007b      EDI: b7776000
    SS:  007b      ESP: bfcb2088  EBP: bfcb20b4  GS:  0033
    CS:  0073      EIP: 00edc416  ERR: 00000004  EFLAGS: 00000246
```

**bt <pid>** を入力して特定のプロセスのバックトレースを表示するか、**help bt** を実行して、**bt** の使用についての詳細を表示します。

**プロセスの状態表示**

- システム内のプロセスの状態を表示するには、**ps** コマンドを使用します。

```
crash> ps
   PID    PPID  CPU   TASK    ST  %MEM     VSZ    RSS  COMM
>     0      0   0  c09dc560  RU   0.0       0      0  [swapper]
>     0      0   1  f7072030  RU   0.0       0      0  [swapper]
      0      0   2  f70a3a90  RU   0.0       0      0  [swapper]
>     0      0   3  f70ac560  RU   0.0       0      0  [swapper]
      1      0   1  f705ba90  IN   0.0    2828   1424  init
... several lines omitted ...
   5566      1   1  f2592560  IN   0.0   12876    784  auditd
   5567      1   2  ef427560  IN   0.0   12876    784  auditd
   5587   5132   0  f196d030  IN   0.0   11064   3184  sshd
>  5591   5587   2  f196d560  RU   0.0    5084   1648  bash
```

**ps <pid>** を使用して、単一プロセスのステータスを表示します。**ps** の詳細な使用方法は、**help ps** を使用します。

**仮想メモリー情報の表示**

- 基本的な仮想メモリー情報を表示するには、対話式プロンプトで **vm** コマンドを入力します。

```
crash> vm
PID: 5591   TASK: f196d560  CPU: 2   COMMAND: "bash"
   MM       PGD      RSS    TOTAL_VM
f19b5900  ef9c6000  1648k    5084k
  VMA       START      END    FLAGS  FILE
```

```
f1bb0310    242000    260000 8000875  /lib/ld-2.12.so
f26af0b8    260000    261000 8100871  /lib/ld-2.12.so
efbc275c    261000    262000 8100873  /lib/ld-2.12.so
efbc2a18    268000    3ed000 8000075  /lib/libc-2.12.so
efbc23d8    3ed000    3ee000 8000070  /lib/libc-2.12.so
efbc2888    3ee000    3f0000 8100071  /lib/libc-2.12.so
efbc2cd4    3f0000    3f1000 8100073  /lib/libc-2.12.so
efbc243c    3f1000    3f4000 100073
efbc28ec    3f6000    3f9000 8000075  /lib/libdl-2.12.so
efbc2568    3f9000    3fa000 8100071  /lib/libdl-2.12.so
efbc2f2c    3fa000    3fb000 8100073  /lib/libdl-2.12.so
f26af888    7e6000    7fc000 8000075  /lib/libtinfo.so.5.7
f26aff2c    7fc000    7ff000 8100073  /lib/libtinfo.so.5.7
efbc211c    d83000    d8f000 8000075  /lib/libnss_files-2.12.so
efbc2504    d8f000    d90000 8100071  /lib/libnss_files-2.12.so
efbc2950    d90000    d91000 8100073  /lib/libnss_files-2.12.so
f26afe00    edc000    edd000 4040075
f1bb0a18   8047000   8118000 8001875  /bin/bash
f1bb01e4   8118000   811d000 8101873  /bin/bash
f1bb0c70   811d000   8122000 100073
f26afae0   9fd9000   9ffa000 100073
... several lines omitted ...
```

**vm <pid>** を実行して、1 つのプロセスの情報を表示するか、**help vm** を実行して、**vm** の使用方法を表示します。

**オープンファイルの表示**

- オープンファイルの情報を表示するには、**files** コマンドを実行します。

```
crash> files
PID: 5591   TASK: f196d560  CPU: 2   COMMAND: "bash"
ROOT: /    CWD: /root
 FD    FILE     DENTRY    INODE    TYPE  PATH
  0  f734f640  eedc2c6c  eecd6048  CHR   /pts/0
  1  efade5c0  eee14090  f00431d4  REG   /proc/sysrq-trigger
  2  f734f640  eedc2c6c  eecd6048  CHR   /pts/0
 10  f734f640  eedc2c6c  eecd6048  CHR   /pts/0
255  f734f640  eedc2c6c  eecd6048  CHR   /pts/0
```

**files <pid>** を実行して、選択した 1 つのプロセスによって開かれたファイルを表示するか、**help files** を実行して、**files** の使用方法を表示します。

## 17.4. KERNEL OOPS ANALYZER の使用

Kernel Oops Analyzer ツールでは、ナレッジベースの既知の問題で oops メッセージを比較することでクラッシュダンプを分析します。

**前提条件**

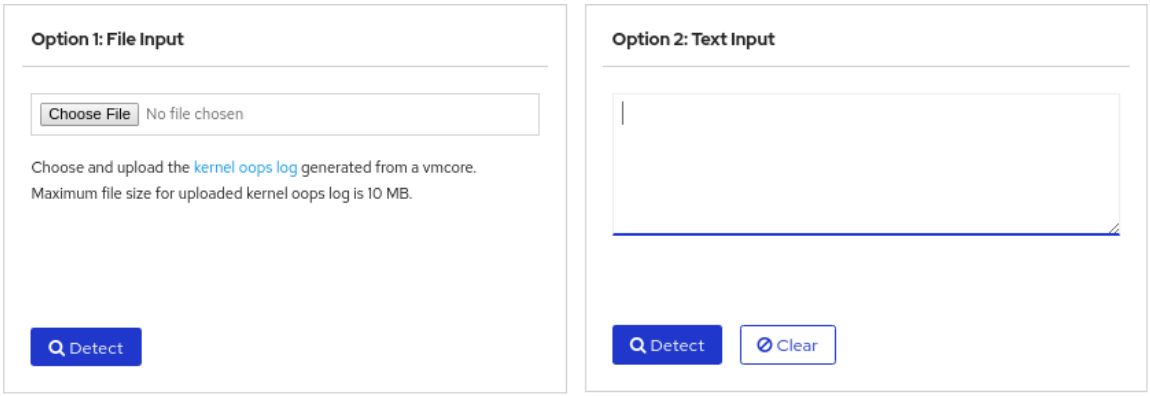
- oops メッセージのセキュリティーを保護し、Kernel Oops Analyzer にフィードしている。

**手順**

1. Kernel Oops Analyzer ツールにアクセスします。

2. カーネルクラッシュの問題を診断するには、**vmcore** に生成されたカーネルの oops ログをアップロードします。

   - テキストメッセージまたは **vmcore-dmesg.txt** を入力として指定して、カーネルクラッシュの問題を診断することも可能です。




3. **DETECT** をクリックして、**makedumpfile** からの情報に基づいて既知のソリューションと oops メッセージを比較します。

**関連情報**

- Kernel Oops Analyzer の記事
- 予期しないシステムの再起動のガイド

## 17.5. KDUMP HELPER ツール

Kdump ヘルパーツールは、提供された情報を使用して **kdump** を設定するのに役立ちます。Kdump Helper は、ユーザーの設定に基づいて設定スクリプトを生成します。サーバーでスクリプトを開始して実行すると、**kdump** サービスが設定されます。

**関連情報**

- Kdump ヘルパー

# 第18章 EARLY KDUMP を使用した起動時間クラッシュの取得

Early kdump は、**kdump** メカニズムの機能です。システムサービスが起動する前の起動プロセス初期段階でシステムまたはカーネルのクラッシュが発生した場合に、**vmcore** ファイルをキャプチャーします。Early kdump は、クラッシュカーネルおよびクラッシュカーネルの **initramfs** を早い段階でメモリーにロードします。

## 18.1. EARLY KDUMP の概要

カーネルクラッシュは、**kdump** サービスが起動する前のブート初期段階で発生することがあります。その場合、kdump はクラッシュしたカーネルメモリーの内容をキャプチャーして保存できません。そのため、トラブルシューティングに重要なクラッシュ関連の情報が失われます。この問題に対処するには、**kdump** サービスの一部である **early kdump** 機能を使用できます。

## 18.2. EARLY KDUMP の有効化

**early kdump** 機能は、初期クラッシュの **vmcore** 情報をキャプチャーするため、十分に早めにロードされるように、クラッシュカーネルと初期 RAM ディスクイメージ (**initramfs**) をセットアップします。これにより、初期のブートカーネルクラッシュに関する情報が失われるリスクを排除できます。

**前提条件**

- アクティブな RHEL サブスクリプションがある。
- システムの CPU アーキテクチャー用の **kexec-tools** パッケージを含むリポジトリーがある。
- **kdump** の設定とターゲットの要件を満たしている詳細は、サポートされている kdump 設定とターゲット を参照してください。

**手順**

1. **kdump** サービスが有効でアクティブであることを確認します。

```
# systemctl is-enabled kdump.service && systemctl is-active kdump.service
enabled
active
```

   **kdump** が有効ではなく、実行されていない場合は、必要な設定をすべて設定し、**kdump** サービスが有効化されていることを確認します。

2. 起動カーネルの **initramfs** イメージを、**early kdump** 機能で再構築します。

```
# dracut -f --add earlykdump
```

3. **rd.earlykdump** カーネルコマンドラインパラメーターを追加します。

```
# grubby --update-kernel=/boot/vmlinuz-$(uname -r) --args="rd.earlykdump"
```

4. システムを再起動して、変更を反映させます。

```
# reboot
```

**検証手順**

- **rd.earlykdump** が正常に追加され、**early kdump** 機能が有効になっていることを確認します。

```
# cat /proc/cmdline
BOOT_IMAGE=(hd0,msdos1)/vmlinuz-5.14.0-1.el9.x86_64 root=/dev/mapper/rhel-root ro
crashkernel=auto resume=/dev/mapper/rhel-swap rd.lvm.lv=rhel/root rd.lvm.lv=rhel/swap
rhgb quiet rd.earlykdump

# journalctl -x | grep early-kdump
Sep 13 15:46:11 redhat dracut-cmdline[304]: early-kdump is enabled.
Sep 13 15:46:12 redhat dracut-cmdline[304]: kexec: loaded early-kdump kernel
```

**関連情報**

- **/usr/share/doc/kexec-tools/early-kdump-howto.txt** ファイル
- What is early kdump support and how do I configure it?
- kdump の有効化

# 第19章 セキュアブート用のカーネルとモジュールの署名

署名済みカーネルと署名済みカーネルモジュールを使用して、システムのセキュリティーを強化できます。セキュアブートが有効になっている UEFI ベースのビルドシステムでは、プライベートにビルドされたカーネルまたはカーネルモジュールに自己署名できます。さらに、カーネルまたはカーネルモジュールをデプロイするターゲットシステムに公開鍵をインポートすることもできます。

セキュアブートが有効な場合、次のすべてのコンポーネントを秘密鍵で署名し、対応する公開鍵で認証する必要があります。

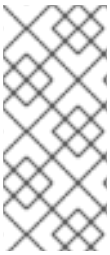
- UEFI オペレーティングシステムのブートローダー
- Red Hat Enterprise Linux カーネル
- すべてのカーネルモジュール

これらのコンポーネントのいずれかが署名および認証されていない場合、システムは起動プロセスを完了できません。

Red Hat Enterprise Linux 9 には以下が含まれます。

- 署名済みブートローダー
- 署名済みカーネル
- 署名済みカーネルモジュール

また、署名された第 1 ステージのブートローダーと署名されたカーネルには、組み込み Red Hat 公開鍵が含まれています。これらの署名済み実行可能バイナリーと組み込みキーにより、Red Hat Enterprise Linux 9 は、UEFI セキュアブートをサポートするシステム上の UEFI ファームウェアによって提供される Microsoft UEFI セキュアブート認証局キーでインストール、起動、および実行できます。



**注記**

- セキュアブートのサポートは、すべての UEFI ベースのシステムに含まれるわけではありません。
- カーネルモジュールを構築、署名するビルドシステムは、UEFI セキュアブートを有効にする必要がなく、UEFI ベースのシステムである必要すらありません。

## 19.1. 前提条件

- 外部でビルドされたカーネルモジュールに署名できるようにするには、次のパッケージからユーティリティーをインストールします。

```
# dnf install pesign openssl kernel-devel mokutil keyutils
```

**表19.1 必要なユーティリティー**

| ユーティリティー | 提供するパッケージ | 使用対象 | 目的 |
|---|---|---|---|
| **efikeygen** | **pesign** | ビルドシステム | 公開および秘密 X.509 鍵のペアを生成 |

| ユーティリティー | 提供するパッケージ | 使用対象 | 目的 |
|---|---|---|---|
| **openssl** | **openssl** | ビルドシステム | 暗号化されていない秘密鍵をエクスポートします。 |
| **sign-file** | **kernel-devel** | ビルドシステム | 秘密鍵でカーネルモジュールに署名するために使用する実行ファイル |
| **mokutil** | **mokutil** | ターゲットシステム | 公開鍵を手動で登録する際に使用するオプションのユーティリティー |
| **keyctl** | **keyutils** | ターゲットシステム | システムキーリングへの公開鍵の表示時に使用するオプションのユーティリティー |

## 19.2. UEFI セキュアブートとは

Unified Extensible Firmware Interface(UEFI) セキュアブートテクノロジーを使用すると、信頼できる鍵によって署名されていないカーネル空間コードの実行を防ぐことができます。システムブートローダーは暗号鍵で署名されています。ファームウェアに含まれる公開鍵のデータベースは、署名鍵を承認します。その後、次のステージのブートローダーとカーネルで署名を検証できます。

UEFI セキュアブートは、以下のようにファームウェアから署名済みドライバーおよびカーネルモジュールへの信頼チェーンを確立します。

- UEFI 秘密鍵が **shim** 第 1 ステージブートローダーに署名し、それを公開鍵が認証します。**認証局** (CA) は公開鍵に署名します。CA はファームウェアのデータベースに保存されます。
- **shim** ファイルには、GRUB ブートローダーとカーネルを認証するための Red Hat 公開鍵 **Red Hat Secure Boot (CA key 1)** が含まれています。
- カーネルには、ドライバーおよびモジュールを認証する公開鍵が含まれます。

セキュアブートは、UEFI 仕様のブートパス検証コンポーネントです。この仕様は、以下を定義します。

- 揮発性ではないストレージでの暗号で保護された UEFI 変数用のプログラミングインターフェイス
- UEFI 変数での信頼できる X.509 ルート証明書の保存
- ブートローダーやドライバーなどの UEFI アプリケーションの検証
- 既知の問題のある証明書およびアプリケーションハッシュを無効にする手順

UEFI セキュアブートは、不正な変更の検出には役立ちますが、以下を行うことは **できません**。

- 第 2 ステージブートローダーのインストールまたは削除を防止する。
- このような変更について、ユーザーによる明示的な確認を要求する。
- ブートパスの操作を停止する。署名は、ブートローダーのインストールや更新時ではなく、起動時に検証されます。

ブートローダーまたはカーネルがシステムの信頼された鍵で署名されていない場合、セキュアブートにより起動が妨げられます。

## 19.3. UEFI セキュアブートのサポート

カーネルとロードされたすべてのドライバーが信頼できる鍵で署名されている場合、UEFI セキュアブートが有効になっているシステムに Red Hat Enterprise Linux 9 をインストールして実行できます。Red Hat は、関連する Red Hat キーによって署名および認証されたカーネルとドライバーを提供します。

外部でビルドされたカーネルまたはドライバーをロードする場合は、それらにも署名する必要があります。

### UEFI セキュアブートによる制限

- システムは、署名が適切に認証された後にのみ、カーネルモードコードを実行します。
- GRUB モジュールの署名および検証を行うインフラストラクチャーがないため、GRUB モジュールの読み込みは無効です。モジュールの読み込みを許可すると、セキュアブートが定義するセキュリティー境界内で信頼できないコードが実行されることになります。
- Red Hat は、Red Hat Enterprise Linux 9 でサポートされているすべてのモジュールを含む署名済み GRUB バイナリーを提供します。

### 関連情報

- UEFI セキュアブートによる制限

## 19.4. X.509 鍵でカーネルモジュールを認証するための要件

Red Hat Enterprise Linux 9 では、カーネルモジュールがロードされると、カーネルはカーネルシステムキーリング (**.builtin_trusted_keys**) およびカーネルプラットフォームキーリング (**.platform**) からの公開 X.509 キーに対してモジュールの署名をチェックします。**.platform** キーリングには、サードパーティーのプラットフォームプロバイダーおよびカスタム公開鍵からのキーが含まれます。カーネルシステムの **.blacklist** キーリングからの鍵は検証から除外されます。

UEFI セキュアブート機能が有効になっているシステムでカーネルモジュールをロードするには、特定の条件を満たす必要があります。

- UEFI セキュアブートが有効な場合、または **module.sig_enforce** カーネルパラメーターが指定されている場合:
  - 署名がシステムキーリング (**.builtin_trusted_keys**) およびプラットフォームキーリング (**.platform**) からの鍵に対して認証されている署名済みのカーネルモジュールだけを読み込みできます。
  - 公開鍵は、システムで拒否されたキーのキーリング (**.blacklist**) に配置できません。
- UEFI セキュアブートが無効で **module.sig_enforce** カーネルパラメーターが指定されていない場合:
  - 公開鍵なしで、未署名のカーネルモジュールと署名済みカーネルモジュールを読み込むことができます。
- システムが UEFI ベースでない場合、または UEFI セキュアブートが無効になっている場合:

- カーネルに埋め込まれた鍵のみが **.builtin_trusted_keys** および **.platform** に読み込まれます。
- カーネルの再構築なしでキーセットを拡張することはできません。

**表19.2 カーネルモジュールの読み込み認証要件**

| モジュールの署名 | 公開鍵ありおよび署名が有効 | UEFI セキュアブートの状態 | sig_enforce | モジュールの読み込み | カーネルのテイント |
|---|---|---|---|---|---|
| 署名なし | - | 有効でない | 有効でない | 成功 | はい |
| | | 有効でない | 有効 | 失敗 | - |
| | | 有効 | - | 失敗 | - |
| 署名あり | いいえ | 有効でない | 有効でない | 成功 | はい |
| | | 有効でない | 有効 | 失敗 | - |
| | | 有効 | - | 失敗 | - |
| 署名あり | はい | 有効でない | 有効でない | 成功 | いいえ |
| | | 有効でない | 有効 | 成功 | いいえ |
| | | 有効 | - | 成功 | いいえ |

## 19.5. 公開鍵のソース

カーネルは、起動時に X.509 キーを永続キーストアから以下のキーリングに読み込みます。

- システムキーリング (**.builtin_trusted_keys**)
- **.platform** キーリング
- システムの **.blacklist** キーリング

**表19.3 システムキーリングのソース**

| X.509 鍵のソース | ユーザーによるキーの追加 | UEFI セキュアブートの状態 | ブート中に読み込まれる鍵 |
|---|---|---|---|
| カーネルに埋め込み | いいえ | - | **.builtin_trusted_keys** |
| UEFI **db** | 限定的 | 有効でない | いいえ |

| X.509 鍵のソース | ユーザーによるキーの追加 | UEFI セキュアブートの状態 | ブート中に読み込まれる鍵 |
|---|---|---|---|
| | | 有効 | **.platform** |
| **shim** ブートローダーに埋め込み | いいえ | 有効でない | いいえ |
| | | 有効 | **.platform** |
| Machine Owner Key (MOK) リスト | はい | 有効でない | いいえ |
| | | 有効 | **.platform** |

**.builtin_trusted_keys**

- 起動時にビルドされるキーリング
- 信頼できる公開鍵が含まれています。
- 鍵を表示するには **root** 権限が必要

**.platform**

- 起動時にビルドされるキーリング
- サードパーティーのプラットフォームプロバイダーからのキーとカスタムの公開鍵が含まれています。
- 鍵を表示するには **root** 権限が必要

**.blacklist**

- 失効した X.509 キーを含むキーリング
- 公開鍵が **.builtin_trusted_keys** にある場合でも、**.blacklist** からのキーで署名されたモジュールは認証に失敗します。

**UEFI セキュアブート db**

- 署名データベース
- UEFI アプリケーション、UEFI ドライバー、およびブートローダーのキー (ハッシュ) を保存します。
- キーはマシンにロードできます。

**UEFI セキュアブート dbx**

- 失効した署名データベース
- キーが読み込まれないようにします。
- このデータベースからの失効したキーは、**.blacklist** キーリングに追加されます。

## 19.6. 公開鍵と秘密鍵の生成

セキュアブート対応システムでカスタムカーネルまたはカスタムカーネルモジュールを使用するには、X.509 の公開鍵と秘密鍵のペアを生成する必要があります。生成された秘密鍵を使用して、カーネルまたはカーネルモジュールに署名できます。また、対応する公開鍵をセキュアブートの Machine Owner Key (MOK) に追加することで、署名済みのカーネルまたはカーネルモジュールを検証できます。

**警告**

強力なセキュリティー対策とアクセスポリシーを適用して、秘密鍵の内容を保護します。悪用すれば、この鍵は、一致する公開鍵で認証されるシステムのセキュリティーに危害を与えるために使用できます。

**手順**

- X.509 の公開鍵と秘密鍵のペアを作成します。
  - カスタムカーネル **モジュール** に署名するだけの場合:

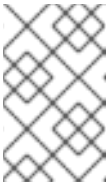
```
# efikeygen --dbdir /etc/pki/pesign \
        --self-sign \
        --module \
        --common-name 'CN=Organization signing key' \
        --nickname 'Custom Secure Boot key'
```

  - カスタム **カーネル** に署名する場合:

```
# efikeygen --dbdir /etc/pki/pesign \
        --self-sign \
        --kernel \
        --common-name 'CN=Organization signing key' \
        --nickname 'Custom Secure Boot key'
```

  - RHEL システムが FIPS モードを実行している場合:

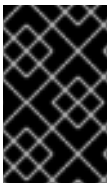
```
# efikeygen --dbdir /etc/pki/pesign \
        --self-sign \
        --kernel \
        --common-name 'CN=Organization signing key' \
        --nickname 'Custom Secure Boot key'
        --token 'NSS FIPS 140-2 Certificate DB'
```



**注記**

FIPS モードでは、**efikeygen が** PKI データベース内でデフォルトの NSS Certificate DB トークンを検索できるように、**--token** オプションを使用する必要があります。

公開鍵と秘密鍵は **/etc/pki/pesign/** ディレクトリーに保存されます。



**重要**

セキュリティー上、署名鍵の有効期間内にカーネルとカーネルモジュールに署名することが推奨されます。ただし、**sign-file** ユーティリティーは警告を発しません。また、鍵は有効期限に関係なく Red Hat Enterprise Linux 9 で使用できます。

**関連情報**

- **openssl(1)** の man ページ
- RHEL Security Guide
- 公開鍵を MOK リストに追加することでターゲットシステムで公開鍵を登録する手順

## 19.7. システムキーリングの出力例

**keyutils** パッケージからの **keyctl** ユーティリティーを使用して、システムのキーリングの鍵に関する情報を表示できます。

**前提条件**

- root 権限がある。
- **keyutils** パッケージから **keyctl** ユーティリティーをインストールしました。

**例19.1 キーリング出力**

以下は、UEFI セキュアブートが有効になっている Red Hat Enterprise Linux 9 システムからの **.builtin_trusted_keys**、**.platform**、および **.blacklist** キーリングの短縮された出力例です。

```
# keyctl list %:.builtin_trusted_keys
6 keys in keyring:
...asymmetric: Red Hat Enterprise Linux Driver Update Program (key 3): bf57f3e87...
...asymmetric: Red Hat Secure Boot (CA key 1): 4016841644ce3a810408050766e8f8a29...
...asymmetric: Microsoft Corporation UEFI CA 2011: 13adbf4309bd82709c8cd54f316ed...
...asymmetric: Microsoft Windows Production PCA 2011: a92902398e16c49778cd90f99e...
...asymmetric: Red Hat Enterprise Linux kernel signing key: 4249689eefc77e95880b...
...asymmetric: Red Hat Enterprise Linux kpatch signing key: 4d38fd864ebe18c5f0b7...

# keyctl list %:.platform
4 keys in keyring:
...asymmetric: VMware, Inc.: 4ad8da0472073...
...asymmetric: Red Hat Secure Boot CA 5: cc6fafe72...
...asymmetric: Microsoft Windows Production PCA 2011: a929f298e1...
...asymmetric: Microsoft Corporation UEFI CA 2011: 13adbf4e0bd82...

# keyctl list %:.blacklist
4 keys in keyring:
...blacklist: bin:f5ff83a...
...blacklist: bin:0dfdbec...
...blacklist: bin:38f1d22...
...blacklist: bin:51f831f...
```

この例の **.builtin_trusted_keys** キーリングは、UEFI セキュアブート **db** キーからの 2 つのキー、および **shim** ブートローダーに組み込まれている **Red Hat Secure Boot (CA key 1)** の追加を表しています。

**例19.2 カーネルコンソール出力**

以下の例は、カーネルコンソールの出力を示しています。このメッセージでは、UEFI セキュアブートに関連するソースの鍵を特定します。これらには、UEFI セキュアブート **db**、組み込みの **shim**、および MOK リストが含まれます。

```
# dmesg | egrep 'integrity.*cert'
[1.512966] integrity: Loading X.509 certificate: UEFI:db
[1.513027] integrity: Loaded X.509 cert 'Microsoft Windows Production PCA 2011: a929023...
[1.513028] integrity: Loading X.509 certificate: UEFI:db
[1.513057] integrity: Loaded X.509 cert 'Microsoft Corporation UEFI CA 2011: 13adbf4309...
[1.513298] integrity: Loading X.509 certificate: UEFI:MokListRT (MOKvar table)
[1.513549] integrity: Loaded X.509 cert 'Red Hat Secure Boot CA 5: cc6fa5e72868ba494e93...
```

**関連情報**

- **keyctl(1)**、**dmesg(1)** の man ページ

## 19.8. 公開鍵を MOK リストに追加することでターゲットシステムで公開鍵を登録する手順

カーネルまたはカーネルモジュールを認証およびロードするすべてのシステムに、公開鍵を登録する必要があります。さまざまな方法でターゲットシステムに公開鍵をインポートして、プラットフォームキーリング (**.platform**) が公開鍵を使用してカーネルまたはカーネルモジュールを認証できるようにすることができます。

セキュアブートが有効になっている UEFI ベースのシステムで RHEL 9 が起動すると、カーネルはセキュアブート **db** キーデータベースにあるすべての公開鍵をプラットフォームキーリング (**.platform**) にロードします。同時に、カーネルは失効したキーの **dbx** データベース内のキーを除外します。

Machine Owner Key (MOK) 機能を使用して、UEFI セキュアブートキーデータベースを拡張できます。セキュアブートが有効な UEFI 対応システムで RHEL 9 が起動すると、キーデータベースの鍵に加えて、MOK リストの鍵もプラットフォームキーリング (**.platform**) に追加されます。MOK リストの鍵は、セキュアブートデータベースの鍵と同様に永続的かつ安全な方法で保存されますが、これらは別個の機能です。MOK 機能は、**shim**、**MokManager**、**GRUB**、および **mokutil** ユーティリティーでサポートされています。

**注記**

システムでカーネルモジュールの認証を実現するために、ファクトリーファームウェアイメージで公開鍵を UEFI セキュアブート鍵データベースに組み入れるようシステムベンダーに要求することを検討します。

**前提条件**

- 公開鍵と秘密鍵のペアを生成し、公開鍵の有効期限を知っています。詳細については、公開鍵と秘密鍵のペアの生成 を参照してください。

**手順**

1. 公開鍵を **sb_cert.cer** ファイルにエクスポートします。

```
# certutil -d /etc/pki/pesign \
        -n 'Custom Secure Boot key' \
        -Lr \
        > sb_cert.cer
```

2. 公開鍵を MOK リストにインポートします。

```
# mokutil --import sb_cert.cer
```

3. この MOK 登録要求の新しいパスワードを入力してください。

4. マシンを再起動します。
**shim** ブートローダーは、保留中の MOK キー登録要求を認識し、**MokManager.efi** を起動して、UEFI コンソールから登録を完了できるようにします。

5. **Enroll MOK** を選択し、プロンプトが表示されたら、この要求に関連付けたパスワードを入力し、登録を確認します。
公開鍵が MOK リストに永続的に追加されます。

   キーが MOK リストに追加されると、UEFI セキュアブートが有効になっている場合は、このブートおよび後続のブートで **.platform** キーリングに自動的に伝達されます。

## 19.9. 秘密鍵でカーネルに署名する

UEFI セキュアブート機能が有効になっている場合は、署名済みカーネルをロードすると、システムのセキュリティーを強化できます。

**前提条件**

- 公開鍵と秘密鍵のペアを生成し、公開鍵の有効期限を知っています。詳細については、公開鍵と秘密鍵のペアの生成 を参照してください。
- ターゲットシステムに公開鍵を登録しています。詳細については、公開鍵を MOK リストに追加して、ターゲットシステムに公開鍵を登録する を参照してください。
- 署名に使用できる ELF 形式のカーネルイメージがあります。

**手順**

- x64 アーキテクチャーの場合:

  a. 署名済みイメージを作成します。

```
# pesign --certificate 'Custom Secure Boot key' \
        --in vmlinuz-version \
        --sign \
        --out vmlinuz-version.signed
```

   **version** を **vmlinuz** ファイルのバージョン接尾辞に置き換え、**Custom Secure Boot key** を以前に選択した名前に置き換えます。

b. オプション: 署名を確認します。

```
# pesign --show-signature \
        --in vmlinuz-version.signed
```

c. 未署名イメージを署名済みイメージで上書きします。

```
# mv vmlinuz-version.signed vmlinuz-version
```

- 64 ビット ARM アーキテクチャーの場合:

a. **vmlinuz** ファイルを解凍します。

```
# zcat vmlinuz-version > vmlinux-version
```

b. 署名済みイメージを作成します。

```
# pesign --certificate 'Custom Secure Boot key' \
        --in vmlinux-version \
        --sign \
        --out vmlinux-version.signed
```

c. オプション: 署名を確認します。

```
# pesign --show-signature \
        --in vmlinux-version.signed
```

d. **vmlinux** ファイルを圧縮します。

```
# gzip --to-stdout vmlinux-version.signed > vmlinuz-version
```

e. 圧縮されていない **vmlinux** ファイルを削除します。

```
# rm vmlinux-version*
```

## 19.10. 秘密鍵で GRUB ビルドに署名する

UEFI セキュアブート機能が有効になっているシステムでは、カスタムの既存の秘密鍵で GRUB ビルドに署名できます。カスタム GRUB ビルドを使用している場合、またはシステムから Microsoft トラストアンカーを削除した場合は、これを行う必要があります。

**前提条件**

- 公開鍵と秘密鍵のペアを生成し、公開鍵の有効期限を知っています。詳細については、公開鍵と秘密鍵のペアの生成 を参照してください。
- ターゲットシステムに公開鍵を登録しています。詳細については、公開鍵を MOK リストに追加して、ターゲットシステムに公開鍵を登録する を参照してください。
- 署名に使用できる GRUB EFI バイナリーがあります。

**手順**

- x64 アーキテクチャーの場合:

  a. 署名済み GRUB EFI バイナリーを作成します。

  ```
  # pesign --in /boot/efi/EFI/redhat/grubx64.efi \
          --out /boot/efi/EFI/redhat/grubx64.efi.signed \
          --certificate 'Custom Secure Boot key' \
          --sign
  ```

  **Custom Secure Boot key** を以前に選択した名前に置き換えます。

  b. オプション: 署名を確認します。

  ```
  # pesign --in /boot/efi/EFI/redhat/grubx64.efi.signed \
          --show-signature
  ```

  c. 署名されていないバイナリーを署名済みバイナリーで上書きします。

  ```
  # mv /boot/efi/EFI/redhat/grubx64.efi.signed \
      /boot/efi/EFI/redhat/grubx64.efi
  ```

- 64 ビット ARM アーキテクチャーの場合:

  a. 署名済み GRUB EFI バイナリーを作成します。

  ```
  # pesign --in /boot/efi/EFI/redhat/grubaa64.efi \
          --out /boot/efi/EFI/redhat/grubaa64.efi.signed \
          --certificate 'Custom Secure Boot key' \
          --sign
  ```

  **Custom Secure Boot key** を以前に選択した名前に置き換えます。

  b. オプション: 署名を確認します。

  ```
  # pesign --in /boot/efi/EFI/redhat/grubaa64.efi.signed \
          --show-signature
  ```

  c. 署名されていないバイナリーを署名済みバイナリーで上書きします。

  ```
  # mv /boot/efi/EFI/redhat/grubaa64.efi.signed \
      /boot/efi/EFI/redhat/grubaa64.efi
  ```

## 19.11. 秘密鍵を使用したカーネルモジュールの署名

UEFI セキュアブートメカニズムが有効になっている場合は、署名済みカーネルモジュールをロードすることでシステムのセキュリティーを強化できます。

署名済みカーネルモジュールは、UEFI セキュアブートが無効になっているシステムまたは非 UEFI システムでもロードできます。そのため、カーネルモジュールの署名済みバージョンと未署名バージョンの両方を提供する必要はありません。

**前提条件**

- 公開鍵と秘密鍵のペアを生成し、公開鍵の有効期限を知っています。詳細については、公開鍵と秘密鍵のペアの生成 を参照してください。
- ターゲットシステムに公開鍵を登録しています。詳細については、公開鍵を MOK リストに追加して、ターゲットシステムに公開鍵を登録する を参照してください。
- ELF イメージ形式で署名できるカーネルモジュールがある。

**手順**

1. 公開鍵を **sb_cert.cer** ファイルにエクスポートします。

```
# certutil -d /etc/pki/pesign \
         -n 'Custom Secure Boot key' \
         -Lr \
         > sb_cert.cer
```

2. NSS データベースからキーを PKCS #12 ファイルとして抽出します。

```
# pk12util -o sb_cert.p12 \
         -n 'Custom Secure Boot key' \
         -d /etc/pki/pesign
```

3. 前のコマンドでプロンプトが表示されたら、秘密鍵を暗号化する新しいパスワードを入力します。
4. 暗号化されていない秘密鍵をエクスポートします。

```
# openssl pkcs12 \
        -in sb_cert.p12 \
        -out sb_cert.priv \
        -nocerts \
        -noenc
```

**重要**

暗号化されていない秘密鍵は慎重に取り扱ってください。

5. カーネルモジュールに署名します。次のコマンドは、カーネルモジュールファイル内の ELF イメージに署名を直接追加します。

```
# /usr/src/kernels/$(uname -r)/scripts/sign-file \
         sha256 \
         sb_cert.priv \
         sb_cert.cer \
         my_module.ko
```

これでカーネルモジュールの読み込み準備が完了しました。

**重要**

Red Hat Enterprise Linux 9 では、キーペアの有効期限が重要です。キーの有効期限はありませんが、カーネルモジュールはその署名キーの有効期間内に署名する必要があります。**sign-file** ユーティリティーでは、これに関する警告は表示されません。たとえば、2021 年にのみ有効な鍵を使用して、その鍵で 2021 年に署名されたカーネルモジュールを認証できます。ただし、ユーザーはこの鍵を使用して 2022 年にカーネルモジュールに署名することはできません。

**検証**

1. カーネルモジュールの署名に関する情報を表示します。

```
# modinfo my_module.ko | grep signer
signer:         Your Name Key
```

生成時に入力した名前が署名に記載されていることを確認します。

**注記**

この追加された署名は ELF イメージセクションには含まれず、また ELF イメージの正式な一部ではありません。したがって、**readelf** などのユーティリティーは、カーネルモジュールの署名を表示できません。

2. モジュールをロードします。

```
# insmod my_module.ko
```

3. モジュールを削除 (アンロード) します。

```
# modprobe -r my_module.ko
```

**関連情報**

- モジュール情報の表示

## 19.12. 署名済みカーネルモジュールの読み込み

公開鍵がシステムキーリング (**.builtin_trusted_keys**) と MOK リストに登録され、秘密鍵でそれぞれのカーネルモジュールに署名した後、**modprobe** コマンドで署名済みのカーネルモジュールをロードできます。

**前提条件**

- 公開鍵と秘密鍵のペアを生成しました。詳細については、公開鍵と秘密鍵のペアの生成 を参照してください。
- 公開鍵をシステムのキーリングに登録している。詳細については、公開鍵を MOK リストに追加して、ターゲットシステムに公開鍵を登録する を参照してください。
- 秘密鍵でカーネルモジュールに署名している。詳細については、秘密鍵を使用したカーネルモジュールの署名 を参照してください。

- **/lib/modules/$(uname -r)/extra/** ディレクトリーを作成する **kernel-modules-extra** パッケージをインストールします。

```
# dnf -y install kernel-modules-extra
```

**手順**

1. 公開鍵がシステムキーリング上にあることを確認します。

```
# keyctl list %:.platform
```

2. カーネルモジュールを必要なカーネルの **extra/** ディレクトリーにコピーします。

```
# cp my_module.ko /lib/modules/$(uname -r)/extra/
```

3. モジュールの依存関係のリストを更新します。

```
# depmod -a
```

4. カーネルモジュールを読み込みます。

```
# modprobe -v my_module
```

5. 必要に応じて、起動時にモジュールをロードするには、モジュールを **/etc/modules-loaded.d/my_module.conf** ファイルに追加します。

```
# echo "my_module" > /etc/modules-load.d/my_module.conf
```

**検証**

- モジュールが正常にロードされたことを確認します。

```
# lsmod | grep my_module
```

**関連情報**

- カーネルモジュールの管理

# 第20章 セキュアブート失効リストの更新

システム上の UEFI セキュアブート失効リストを更新すると、セキュアブートが既知のセキュリティー問題のあるソフトウェアを識別し、ブートプロセスが侵害されるのを防ぐことができます。

## 20.1. 前提条件

- システムでセキュアブートが有効になっている。

## 20.2. UEFI セキュアブートとは

**Unified Extensible Firmware Interface**(UEFI) セキュアブートテクノロジーを使用すると、信頼できる鍵によって署名されていないカーネル空間コードの実行を防ぐことができます。システムブートローダーは暗号鍵で署名されています。ファームウェアに含まれる公開鍵のデータベースは、署名鍵を承認します。その後、次のステージのブートローダーとカーネルで署名を検証できます。

UEFI セキュアブートは、以下のようにファームウェアから署名済みドライバーおよびカーネルモジュールへの信頼チェーンを確立します。

- UEFI 秘密鍵が **shim** 第 1 ステージブートローダーに署名し、それを公開鍵が認証します。**認証局** (CA) は公開鍵に署名します。CA はファームウェアのデータベースに保存されます。
- **shim** ファイルには、GRUB ブートローダーとカーネルを認証するための Red Hat 公開鍵 **Red Hat Secure Boot (CA key 1)** が含まれています。
- カーネルには、ドライバーおよびモジュールを認証する公開鍵が含まれます。

セキュアブートは、UEFI 仕様のブートパス検証コンポーネントです。この仕様は、以下を定義します。

- 揮発性ではないストレージでの暗号で保護された UEFI 変数用のプログラミングインターフェイス
- UEFI 変数での信頼できる X.509 ルート証明書の保存
- ブートローダーやドライバーなどの UEFI アプリケーションの検証
- 既知の問題のある証明書およびアプリケーションハッシュを無効にする手順

UEFI セキュアブートは、不正な変更の検出には役立ちますが、以下を行うことは **できません**。

- 第 2 ステージブートローダーのインストールまたは削除を防止する。
- このような変更について、ユーザーによる明示的な確認を要求する。
- ブートパスの操作を停止する。署名は、ブートローダーのインストールや更新時ではなく、起動時に検証されます。

ブートローダーまたはカーネルがシステムの信頼された鍵で署名されていない場合、セキュアブートにより起動が妨げられます。

## 20.3. セキュアブート失効リスト

UEFI セキュアブート失効リスト、またはセキュアブート禁止署名データベース (**dbx**) は、セキュアブートで実行が許可されなくなったソフトウェアを識別するリストです。

GRUB ブートローダーなど、セキュアブートと連携するソフトウェアでセキュリティー上の問題や安定性上の問題が見つかった場合、失効リストにそのハッシュ署名が保存されます。このような認識された署名を持つソフトウェアは起動時に実行できず、システムの侵害を防ぐためにシステムの起動が失敗します。

たとえば、GRUB の特定のバージョンには、攻撃者がセキュアブートメカニズムをバイパスできるセキュリティー上の問題が含まれていたとします。問題が見つかると、失効リストに、問題があるすべての GRUB バージョンのハッシュ署名が追加されます。その結果、セキュアな GRUB バージョンのみがシステムで起動できるようになります。

失効リストは、新たに見つかった問題を認識するために定期的に更新する必要があります。失効リストを更新するときは、現在インストールされているシステムが起動しなくならないように、安全な更新方法を使用してください。

## 20.4. 失効リストのオンライン更新の適用

システム上のセキュアブート失効リストを更新することにより、セキュアブートで既知のセキュリティー問題を防止できます。この手順は安全であり、更新によってシステムの起動が妨げられることはありません。

**前提条件**

- システムが更新のためにインターネットにアクセスできる。

**手順**

1. 失効リストの現在のバージョンを確認します。

```
# fwupdmgr get-devices
```

   **UEFI dbx** の下の **Current version** フィールドを確認します。

2. LVFS 失効リストリポジトリーを有効にします。

```
# fwupdmgr enable-remote lvfs
```

3. リポジトリーのメタデータを更新します。

```
# fwupdmgr refresh
```

4. 失効リストの更新を適用します。
   - コマンドラインの場合:

```
# fwupdmgr update
```

   - グラフィカルインターフェイスの場合:
     i. **Software** アプリケーションを開きます。
     ii. **Updates** タブに移動します。
     iii. **Secure Boot dbx Configuration Update**エントリーを見つけます。

iv. **Update** をクリックします。

5. 更新の最後に、**fwupdmgr** または **ソフトウェア** がシステムの再起動を要求します。再起動を確認します。

**検証**

- 再起動後、失効リストの現在のバージョンを再度確認します。

```
# fwupdmgr get-devices
```

## 20.5. 失効リストのオフライン更新の適用

インターネットに接続されていないシステムでは、RHEL からセキュアブート失効リストを更新することにより、セキュアブートで既知のセキュリティー問題を防止できます。この手順は安全であり、更新によってシステムの起動が妨げられることはありません。

**手順**

1. 失効リストの現在のバージョンを確認します。

```
# fwupdmgr get-devices
```

**UEFI dbx** の下の **Current version** フィールドを確認します。

2. RHEL から入手可能な更新をリストします。

```
# ls /usr/share/dbxtool/
```

3. アーキテクチャーの最新の更新ファイルを選択します。ファイル名には次の形式が使用されます。

```
DBXUpdate-date-architecture.cab
```

4. 選択した更新ファイルをインストールします。

```
# fwupdmgr install /usr/share/dbxtool/DBXUpdate-date-architecture.cab
```

5. 更新の最後に、**fwupdmgr** がシステムの再起動を要求します。再起動を確認します。

**検証**

- 再起動後、失効リストの現在のバージョンを再度確認します。

```
# fwupdmgr get-devices
```

# 第21章 カーネル整合性サブシステムによるセキュリティーの強化

カーネル整合性サブシステムのコンポーネントを使用して、システムの保護を強化できます。関連するコンポーネントとその設定の詳細をご覧ください。

**注記**

カーネルキーリングシステムには Red Hat 署名キーの証明書のみが含まれるため、暗号化署名のある機能を使用できます。他のハッシュ機能を使用すると、改ざん防止が不完全になります。

## 21.1. カーネル整合性サブシステム

整合性サブシステムは、システムデータの全体的な整合性を維持するカーネルの一部です。このサブシステムは、システムの状態を構築時と同じ状態に保つのに役立ちます。このサブシステムを使用すると、特定のシステムファイルの望ましくない変更を防ぐことができます。

カーネル整合性サブシステムは、2 つの主要なコンポーネントで設定されています。

**Integrity Measurement Architecture (IMA)**

- IMA は、ファイルが実行されるか開かれるたびに、暗号学的にハッシュするか、暗号化キーで署名することにより、ファイルの内容を測定します。キーは、カーネルキーリングサブシステムに格納されます。
- IMA は、測定値をカーネルのメモリー空間内に格納します。これにより、システムのユーザーが測定値を変更できなくなります。
- IMA は、ローカルおよびリモートのユーザーが測定値を検証できるようにします。
- IMA は、カーネルメモリー内の測定リストに以前に格納された値に対して、ファイルの現在の内容をローカルで検証します。この拡張機能は、現在の測定と以前の測定が一致しない場合に、特定のファイルに対して操作を実行することを禁止します。

**Extended Verification Module (EVM)**

- EVM は、IMA 測定値や SELinux 属性など、システムセキュリティーに関連するファイルの拡張属性 (**xattr** とも呼ばれます) を保護します。EVM は、対応する値を暗号的にハッシュするか、暗号鍵で署名します。キーは、カーネルキーリングサブシステムに格納されます。

カーネル整合性サブシステムは、TPM (Trusted Platform Module) を使用して、システムセキュリティーをさらに強化できます。

TPM は、暗号化鍵が統合されたハードウェア、ファームウェア、または仮想コンポーネントで、重要な暗号化機能のために Trusted Computing Group (TCG) による TPM 仕様に従って構築されています。TPM は通常、プラットフォームのマザーボードに接続された専用ハードウェアとして構築されます。ハードウェアチップの保護された改ざん防止領域から暗号化機能を提供することにより、TPM はソフトウェアベースの攻撃から保護されます。TPM は次の機能を提供します。

- 乱数ジェネレーター
- 暗号化キーのジェネレーターと安全なストレージ
- ハッシュジェネレーター

- リモート認証

**関連情報**

- セキュリティーの強化
- SELinux (Security-Enhanced Linux) の基本設定および高度な設定

## 21.2. 信頼できる鍵および暗号化された鍵

**信頼できる鍵** および **暗号化鍵** は、システムセキュリティーを強化する上で重要な要素です。

信頼できる鍵と暗号化された鍵は、カーネルキーリングサービスを使用するカーネルが生成する可変長の対称鍵です。キーの整合性を検証できます。つまり、実行中のシステムの整合性を検証および確認するために、Extended Verification Module (EVM) などでキーを使用できます。ユーザーレベルのプログラムがアクセス可能なのは、暗号化された **ブロブ** の形式での鍵のみです。

**信頼できる鍵**

信頼できる鍵は、鍵の作成と暗号化 (保護) の両方に使用される Trusted Platform Module (TPM) チップを必要とします。各 TPM には、ストレージルートキーと呼ばれるマスターラッピングキーがあります。これは TPM 自体に保存されます。

**注記**

RHEL 9 は TPM 2.0 のみをサポートします。TPM 1.2 を使用する必要がある場合は、RHEL 8 を使用してください。詳細は、Red Hat 製品では Trusted Platform Module (TPM) がサポートされますか? を参照してください。

次のコマンドを入力すると、TPM 2.0 チップが有効になっていることを確認できます。

```
$ cat /sys/class/tpm/tpm0/tpm_version_major
2
```

TPM 2.0 チップを有効にし、マシンのファームウェアの設定を通じて TPM 2.0 デバイスを管理することもできます。

さらに、TPM の **platform configuration register** (PCR) 値の特定セットを使用して、信頼できる鍵を保護できます。PCR には、ファームウェア、ブートローダー、およびオペレーティングシステムを反映する整合性管理値のセットが含まれます。つまり、PCR で保護された鍵は、暗号化を行った同じシステム上にある TPM でしか復号できません。ただし、PCR で保護された信頼できる鍵が読み込まれると (キーリングに追加されると)、新しいカーネルなどを起動できるように、関連する PCR 値が検証され、新しい (または今後の) PCR 値に更新されます。単一のキーを、それぞれ異なる PCR 値を持つ複数のブロブとして保存することもできます。

**暗号化鍵**

暗号化鍵はカーネル Advanced Encryption Standard (AES) を使用するため、TPM を必要としません。これにより、暗号化鍵は信頼できる鍵よりも高速になります。暗号化鍵は、カーネルが生成した乱数を使用して作成され、ユーザー空間の blobs へのエクスポート時に **マスターキー** により暗号化されます。

マスターキーは信頼できる鍵か、ユーザーキーのいずれかです。マスターキーが信頼されていない場合には、暗号化鍵のセキュリティーは、暗号化に使用されたユーザーキーと同じように保護されます。

## 21.3. 信頼できる鍵での作業

**keyctl** ユーティリティーを使用して、信頼できる鍵を作成、エクスポート、ロード、更新することにより、システムのセキュリティーを向上できます。

### 前提条件

- Trusted Platform Module (TPM) が有効でアクティブである。カーネル整合性サブシステム および 信頼できる鍵および暗号化鍵 を参照してください。
  **tpm2_pcrread** コマンドを入力して、システムに TPM があることを確認できます。このコマンドの出力に複数のハッシュが表示される場合は、TPM があります。

### 手順

1. 次のユーティリティーのいずれかを使用して、永続ハンドル (たとえば、**81000001**) を持つ SHA-256 プライマリーストレージキーを使用して 2048 ビット RSA キーを作成します。

   a. **tss2** パッケージを使用する場合:

   ```
   # TPM_DEVICE=/dev/tpm0 tsscreateprimary -hi o -st
   Handle 80000000
   # TPM_DEVICE=/dev/tpm0 tssevictcontrol -hi o -ho 80000000 -hp 81000001
   ```

   b. **tpm2-tools** パッケージを使用する場合:

   ```
   # tpm2_createprimary --key-algorithm=rsa2048 --key-context=key.ctxt
   name-alg:
     value: sha256
     raw: 0xb
   …
   sym-keybits: 128
   rsa: xxxxxx…

   # tpm2_evictcontrol -c key.ctxt 0x81000001
   persistentHandle: 0x81000001
   action: persisted
   ```

2. TPM 2.0 を使用し、**keyctl add trusted <NAME> "new <KEY_LENGTH> keyhandle=<PERSISTENT-HANDLE> [options]" <KEYRING>** という構文で信頼できる鍵を作成します。この例では、永続ハンドルは 81000001 です。

   ```
   # keyctl add trusted kmk "new 32 keyhandle=0x81000001" @u
   642500861
   ```

   このコマンドは、**kmk** という名前の信頼できる鍵を **32** バイト (256 ビット) の長さで作成し、ユーザーキーリング (**@u**) に配置します。鍵の長さは 32 から 128 バイト (256 から 1024 ビット) です。

3. カーネルキーリングの現在の構造を一覧表示します。

   ```
   # keyctl show
   Session Keyring
         -3 --alswrv    500   500  keyring: ses 97833714 --alswrv 500 -1 \ keyring: uid.1000
   642500861 --alswrv 500 500 \ trusted: kmk
   ```

4. 信頼できる鍵のシリアル番号を使用して、鍵をユーザー空間のブロブにエクスポートします。

```
# keyctl pipe 642500861 > kmk.blob
```

このコマンドは、**pipe** サブコマンドと **kmk** のシリアル番号を使用します。

5. ユーザー空間のブロブから信頼できる鍵をロードします。

```
# keyctl add trusted kmk "load `cat kmk.blob`" @u
268728824
```

6. TPM で保護された信頼できる鍵 (**kmk**) を使用するセキュアな暗号化鍵を作成します。**keyctl add encrypted <NAME> "new FORMAT <KEY_TYPE>:<PRIMARY_KEY_NAME> <KEY_LENGTH>" <KEYRING>** という構文に従います。

```
# keyctl add encrypted encr-key "new trusted:kmk 32" @u
159771175
```

**関連情報**

- **keyctl(1)** の man ページ
- 信頼できる鍵および暗号化された鍵
- Kernel Key Retention Service
- カーネル整合性サブシステム

## 21.4. 暗号化鍵での作業

暗号化鍵を管理することで、Trusted Platform Module (TPM) が使用できないシステムのシステムセキュリティーを向上できます。

**手順**

1. 無作為な数列を使用してユーザーキーを生成します。

```
# keyctl add user kmk-user "$(dd if=/dev/urandom bs=1 count=32 2>/dev/null)" @u
427069434
```

このコマンドは、**kmk-user** という名前のユーザーキーを生成し、**プライマリーキー** として動作させ、このユーザーキーを使用して実際の暗号化鍵を保護します。

2. 前の手順で取得したプライマリーキーを使用して、暗号化鍵を生成します。

```
# keyctl add encrypted encr-key "new user:kmk-user 32" @u
1012412758
```

3. 必要に応じて、指定したユーザーキーリングにあるすべての鍵をリスト表示します。

```
# keyctl list @u
2 keys in keyring:
427069434: --alswrv  1000  1000 user: kmk-user
```

```
1012412758: --alswrv  1000  1000 encrypted: encr-key
```

**重要**

信頼できるプライマリーキーで保護されていない暗号化鍵では、暗号化に使用されたユーザーのプライマリーキー (乱数キー) と同程度のセキュリティーしか得られません。そのため、プライマリーユーザーキーはできるだけセキュアに、システムの起動プロセスの早い段階でロードしてください。

**関連情報**

- **keyctl(1)** の man ページ
- Kernel Key Retention Service

## 21.5. IMA と EVM の有効化

Integrity Measurement Architecture (IMA) と Extended Verification Module (EVM) を有効にして設定することで、オペレーティングシステムのセキュリティーを向上できます。

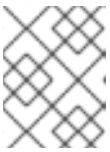
**重要**

必ず IMA と一緒に EVM を有効にしてください。

EVM を単独で有効にすることもできますが、EVM 評価は IMA 評価ルールによってのみトリガーされます。したがって、SELinux 属性などのファイルメタデータが EVM によって保護されません。ファイルメタデータがオフラインで改ざんされた場合、EVM はファイルメタデータの変更を防ぐことしかできません。ファイルの実行などのファイルアクセスは妨げません。

**前提条件**

- セキュアブートが一時的に無効になっている。



**注記**

セキュアブートが有効になっている場合、**ima_appraise=fix** カーネルコマンドラインパラメーターが機能しません。

- **securityfs** ファイルシステムが **/sys/kernel/security/** ディレクトリーにマウントされており、**/sys/kernel/security/integrity/ima/** ディレクトリーが存在している。**mount** コマンドを使用して、**securityfs** がマウントされている場所を確認できます。

```
# mount
...
securityfs on /sys/kernel/security type securityfs (rw,nosuid,nodev,noexec,relatime)
...
```

- **systemd** サービスマネージャーに、ブート時に IMA と EVM をサポートするパッチが適用されている。次のコマンドを使用して確認します。

```
# grep <options> pattern <files>
```

以下に例を示します。

```
# dmesg | grep -i -e EVM -e IMA -w
[ 0.943873] ima: No TPM chip found, activating TPM-bypass!
[ 0.944566] ima: Allocated hash algorithm: sha256
[ 0.944579] ima: No architecture policies found
[ 0.944601] evm: Initialising EVM extended attributes:
[ 0.944602] evm: security.selinux
[ 0.944604] evm: security.SMACK64 (disabled)
[ 0.944605] evm: security.SMACK64EXEC (disabled)
[ 0.944607] evm: security.SMACK64TRANSMUTE (disabled)
[ 0.944608] evm: security.SMACK64MMAP (disabled)
[ 0.944609] evm: security.apparmor (disabled)
[ 0.944611] evm: security.ima
[ 0.944612] evm: security.capability
[ 0.944613] evm: HMAC attrs: 0x1
[ 1.314520] systemd[1]: systemd 252-18.el9 running in system mode (+PAM +AUDIT
+SELINUX -APPARMOR +IMA +SMACK +SECCOMP +GCRYPT +GNUTLS +OPENSSL
+ACL +BLKID +CURL +ELFUTILS -FIDO2 +IDN2 -IDN -IPTC +KMOD +LIBCRYPTSETUP
+LIBFDISK +PCRE2 -PWQUALITY +P11KIT -QRENCODE +TPM2 +BZIP2 +LZ4 +XZ
+ZLIB +ZSTD -BPF_FRAMEWORK +XKBCOMMON +UTMP +SYSVINIT default-
hierarchy=unified)
[ 1.717675] device-mapper: core: CONFIG_IMA_DISABLE_HTABLE is disabled. Duplicate
IMA measurements will not be recorded in the IMA log.
[ 4.799436] systemd[1]: systemd 252-18.el9 running in system mode (+PAM +AUDIT
+SELINUX -APPARMOR +IMA +SMACK +SECCOMP +GCRYPT +GNUTLS +OPENSSL
+ACL +BLKID +CURL +ELFUTILS -FIDO2 +IDN2 -IDN -IPTC +KMOD +LIBCRYPTSETUP
+LIBFDISK +PCRE2 -PWQUALITY +P11KIT -QRENCODE +TPM2 +BZIP2 +LZ4 +XZ
+ZLIB +ZSTD -BPF_FRAMEWORK +XKBCOMMON +UTMP +SYSVINIT default-
hierarchy=unified)
```

**手順**

1. 現在のブートエントリーの **fix** モードで IMA と EVM を有効にし、次のカーネルコマンドラインパラメーターを追加することで、ユーザーが IMA 測定値を収集および更新できるようにします。

```
# grubby --update-kernel=/boot/vmlinuz-$(uname -r) --args="ima_policy=appraise_tcb
ima_appraise=fix evm=fix"
```

このコマンドは、現在のブートエントリーの **fix** モードで IMA および EVM を有効にしてユーザーが IMA 測定を収集し、更新できるようにします。

**ima_policy=appraise_tcb** カーネルコマンドラインパラメーターにより、カーネルは、デフォルトの TCB (Trusted Computing Base) 測定ポリシーと評価手順を使用するようになります。評価手順では、以前の測定と現在の測定が一致しないファイルへのアクセスを禁止します。

2. 再起動して変更を適用します。

3. オプション: パラメーターがカーネルコマンドラインに追加されていることを確認します。

```
# cat /proc/cmdline
BOOT_IMAGE=(hd0,msdos1)/vmlinuz-5.14.0-1.el9.x86_64 root=/dev/mapper/rhel-root ro
crashkernel=1G-4G:192M,4G-64G:256M,64G-:512M resume=/dev/mapper/rhel-swap
```

```
rd.lvm.lv=rhel/root rd.lvm.lv=rhel/swap rhgb quiet ima_policy=appraise_tcb ima_appraise=fix
evm=fix
```

4. カーネルマスターキーを作成して、EVM 鍵を保護します。

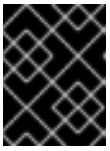
```
# keyctl add user kmk "$(dd if=/dev/urandom bs=1 count=32 2> /dev/null)" @u
748544121
```

**kmk** は、すべてカーネル領域メモリー内に保持されます。**kmk** の 32 バイトの Long 値は、**/dev/urandom** ファイルの乱数バイト数から生成し、ユーザーの (**@u**) キーリングに配置します。鍵のシリアル番号は、前の出力の 1 行目にあります。

5. **kmk** に基づいて暗号化された EVM 鍵を作成します。

```
# keyctl add encrypted evm-key "new user:kmk 64" @u
641780271
```

**kmk** を使用して 64 バイトの long 型ユーザーキー ( **evm-key**) を生成してユーザー (**@u**) のキーリングに配置します。鍵のシリアル番号は、前の出力の 1 行目にあります。



**重要**

ユーザーキーの名前は **evm-key** (EVM サブシステムが想定して使用している名前) にする必要があります。

6. エクスポートする鍵のディレクトリーを作成します。

```
# mkdir -p /etc/keys/
```

7. **kmk** を検索し、その暗号化されていない値を新しいディレクトリーにエクスポートします。

```
# keyctl pipe $(keyctl search @u user kmk) > /etc/keys/kmk
```

8. **evm-key** を検索し、その暗号化された値を新しいディレクトリーにエクスポートします。

```
# keyctl pipe $(keyctl search @u encrypted evm-key) > /etc/keys/evm-key
```

**evm-key** は、すでにカーネルのマスターキーにより暗号化されています。

9. オプション: 新しく作成された鍵を表示します。

```
# keyctl show
Session Keyring
974575405   --alswrv     0        0      keyring: ses 299489774 --alswrv 0 65534 \ keyring: uid.0
748544121 --alswrv 0 0 \ user: kmk
641780271   --alswrv     0        0          \_ encrypted: evm-key

# ls -l /etc/keys/
total 8
-rw-r--r--. 1 root root 246 Jun 24 12:44 evm-key
-rw-r--r--. 1 root root  32 Jun 24 12:43 kmk
```

10. オプション: システムの再起動後など、鍵がキーリングから削除されている場合は、新しい **kmk** と **evm-key** を作成せずに、すでにエクスポートされているものをインポートできます。

    a. **kmk** をインポートします。

    ```
    # keyctl add user kmk "$(cat /etc/keys/kmk)" @u
    451342217
    ```

    b. **evm-key** をインポートします。

    ```
    # keyctl add encrypted evm-key "load $(cat /etc/keys/evm-key)" @u
    924537557
    ```

11. EVM をアクティブ化します。

    ```
    # echo 1 > /sys/kernel/security/evm
    ```

12. システム全体のラベルを付け直します。

    ```
    # find / -fstype xfs -type f -uid 0 -exec head -n 1 '{}' >/dev/null \;
    ```

**警告**

システムのラベルを変更せずに IMA と EVM を有効にすると、システム上のファイルの大部分にアクセスできなくなる可能性があります。

**検証**

- EVM が初期化されていることを確認します。

```
# dmesg | tail -1
[…] evm: key initialized
```

**関連情報**

- grep(1) manpage
- カーネル整合性サブシステム
- 信頼できる鍵および暗号化された鍵

## 21.6. INTEGRITY MEASUREMENT ARCHITECTURE によるファイルのハッシュの収集

**測定** フェーズでは、ファイルハッシュを作成し、そのファイルの拡張属性 (**xattrs**) としてファイルハッシュを保存できます。ファイルハッシュを使用すると、RSA ベースのデジタル署名またはハッシュベースのメッセージ認証コード (HMAC-SHA1) を生成できるため、拡張属性に対するオフライン改ざん攻撃を防ぐことができます。

**前提条件**

- IMA と EVM が有効になっている。詳細は、整合性測定アーキテクチャーと拡張検証モジュールの有効化 を参照してください。
- 有効な信頼できる鍵または暗号化鍵が、カーネルキーリングに保存されている。
- **ima-evm-utils**、**attr**、および **keyutils** パッケージがインストールされている。

**手順**

1. テストファイルを作成します。

```
# echo <Test_text> > test_file
```

IMA と EVM は、**test_file** サンプルファイルにハッシュ値が割り当てられ、その拡張属性として格納されていることを確認します。

2. ファイルの拡張属性を検査します。

```
# getfattr -m . -d test_file
# file: test_file
security.evm=0sAnDIy4VPA0HArpPO/EqiutnNyBql
security.ima=0sAQOEDeuUnWzwwKYk+n66h/vby3eD
```

出力例には、IMA および EVM ハッシュ値と SELinux コンテキストを含む拡張属性が示されています。EVM は、他の属性に関連する **security.evm** 拡張属性を追加します。この時点で、**security.evm** で **evmctl** ユーティリティーを使用して、RSA ベースのデジタル署名またはハッシュベースのメッセージ認証コード (HMAC-SHA1) を生成できます。

**関連情報**

- セキュリティーの強化

## 21.7. パッケージファイルへの IMA 署名の追加

カーネル、Keylime、**fapolicyd**、および **debuginfo** パッケージが整合性チェックを実行できるようにするには、RPM ファイルに IMA 署名を追加する必要があります。**rpm-plugin-ima** プラグインをインストールすると、新しくインストールされた RPM ファイルの **security.ima** 拡張ファイル属性に、IMA 署名が自動的に配置されます。ただし、IMA 署名を取得するには、既存のパッケージを再インストールする必要があります。

**手順**

1. **rpm-plugin-ima** プラグインをインストールするには、次を実行します。

```
# dnf install rpm-plugin-ima -y
```

2. すべてのパッケージを再インストールするには、次を実行します。

```
# dnf reinstall “*” -y
```

**検証**

1. 再インストールしたパッケージファイルに有効な IMA 署名があることを確認します。たとえば、**/usr/bin/bash** ファイルの IMA 署名を確認するには、次のコマンドを実行します。

```
# getfattr -m security.ima -d /usr/bin/bash
security.ima=0sAwIE0zIESQBnMGUCMFhf0iBeM7NjjhCCHVt4/ORx1eCegjrWSHzFbJMCsAh
R9bYU2hNGjiWUYT2IlqWaaAIxALFGUkqGP5vDLuxQXibO9g7HFcfyZzRBY4rbKPsXcAIZRtD
HVS5dQBZqM3hyS5v1MA==
```

2. 指定の証明書を使用してファイルの IMA 署名を検証します。IMA コード署名鍵には、**/usr/share/doc/kernel-keys/$(uname -r)/ima.cer** からアクセスできます。

```
# evmctl ima_verify -k /usr/share/doc/kernel-keys/$(uname -r)/ima.cer /usr/bin/bash
key 1: d3320449 /usr/share/doc/kernel-keys/5.14.0-359.el9.x86-64/ima.cer
/usr/bin/bash: verification is OK
```

## 21.8. カーネルランタイム整合性監視の有効化

IMA 評価が提供するカーネルランタイム整合性の監視を有効にすることができます。

**前提条件**

- システムにインストールされている **kernel** のバージョンが **5.14.0-359** 以降である。
- **dracut** パッケージのバージョンが **057-43.git20230816** 以降である。
- **keyutils** パッケージがインストールされている。
- **ima-evm-utils** パッケージがインストールされている。
- ポリシーの対象となるファイルに有効な署名がある。手順については、パッケージファイルへの IMA 署名の追加 を参照してください。

**手順**

1. Red Hat IMA コード署名鍵を **/etc/ima/keys** ファイルにコピーするには、次のコマンドを実行します。

```
$ mkdir -p /etc/keys/ima
$ cp /usr/share/doc/kernel-keys/$(uname -r)/ima.cer /etc/ima/keys
```

2. IMA コード署名鍵を **.ima** キーリングに追加するには、次のコマンドを実行します。

```
# keyctl padd asymmetric RedHat-IMA %:.ima < /etc/ima/keys/ima.cer
```

3. 脅威モデルに応じて、**/etc/sysconfig/ima-policy** ファイルで IMA ポリシーを定義します。たとえば、次の IMA ポリシーは、実行可能ファイルと、関連するメモリーマッピングライブラリーファイルの両方の整合性をチェックします。

```
# PROC_SUPER_MAGIC = 0x9fa0
dont_appraise fsmagic=0x9fa0
# SYSFS_MAGIC = 0x62656572
dont_appraise fsmagic=0x62656572
# DEBUGFS_MAGIC = 0x64626720
dont_appraise fsmagic=0x64626720
```

```
# TMPFS_MAGIC = 0x01021994
dont_appraise fsmagic=0x1021994
# RAMFS_MAGIC
dont_appraise fsmagic=0x858458f6
# DEVPTS_SUPER_MAGIC=0x1cd1
dont_appraise fsmagic=0x1cd1
# BINFMTFS_MAGIC=0x42494e4d
dont_appraise fsmagic=0x42494e4d
# SECURITYFS_MAGIC=0x73636673
dont_appraise fsmagic=0x73636673
# SELINUX_MAGIC=0xf97cff8c
dont_appraise fsmagic=0xf97cff8c
# SMACK_MAGIC=0x43415d53
dont_appraise fsmagic=0x43415d53
# NSFS_MAGIC=0x6e736673
dont_appraise fsmagic=0x6e736673
# EFIVARFS_MAGIC
dont_appraise fsmagic=0xde5e81e4
# CGROUP_SUPER_MAGIC=0x27e0eb
dont_appraise fsmagic=0x27e0eb
# CGROUP2_SUPER_MAGIC=0x63677270
dont_appraise fsmagic=0x63677270
appraise func=BPRM_CHECK
appraise func=FILE_MMAP mask=MAY_EXEC
```

4. IMA ポリシーをロードしてカーネルがこの IMA ポリシーを受け入れるようにするには、次のコマンドを実行します。

```
# echo /etc/sysconfig/ima-policy > /sys/kernel/security/ima/policy
# echo $?
0
```

5. **dracut** Integrity モジュールが IMA コード署名鍵と IMA ポリシーを自動的にロードできるようにするには、次のコマンドを実行します。

```
# echo 'add_dracutmodules+=" integrity "' > /etc/dracut.conf.d/98-integrity.conf
# dracut -f
```

## 21.9. OPENSSL を使用したカスタム IMA 鍵の作成

**OpenSSL** を使用して、デジタル証明書の CSR を生成し、コードを保護できます。

カーネルは、**.ima** キーリングでコード署名鍵を検索し、IMA 署名を検証します。コード署名鍵を **.ima** キーリングに追加する前に、IMA CA キーが **.builtin_trusted_keys** または **.secondary_trusted_keys** キーリング内のこの鍵に署名していることを確認する必要があります。

**前提条件**

- カスタム IMA CA キーに次の拡張がある。
  - CA ブール値がアサートされた基本制約の拡張。
  - **keyCertSign** ビットがアサートされているが、**digitalSignature** が **アサートされていない KeyUsage** 拡張。

- カスタム IMA コード署名鍵が次の基準に該当する。
  - IMA CA キーがこのカスタム IMA コード署名鍵に署名している。
  - カスタムキーに **subjectKeyIdentifier** 拡張が含まれている。

**手順**

1. カスタム IMA CA キーペアを生成するには、次のコマンドを実行します。

```
# openssl req -new -x509 -utf8 -sha256 -days 3650 -batch -config ima_ca.conf -outform
DER -out custom_ima_ca.der -keyout custom_ima_ca.priv
```

2. **オプション**: **ima_ca.conf** ファイルの内容を確認するには、次のコマンドを実行します。

```
# cat ima_ca.conf
[ req ]
default_bits = 2048
distinguished_name = req_distinguished_name
prompt = no
string_mask = utf8only
x509_extensions = ca

[ req_distinguished_name ]
O = YOUR_ORG
CN =  YOUR_COMMON_NAME IMA CA
emailAddress = YOUR_EMAIL

[ ca ]
basicConstraints=critical,CA:TRUE
subjectKeyIdentifier=hash
authorityKeyIdentifier=keyid:always,issuer
keyUsage=critical,keyCertSign,cRLSign
```

3. 秘密鍵と IMA コード署名鍵の証明書署名要求 (CSR) を生成するには、次のコマンドを実行します。

```
# openssl req -new -utf8 -sha256 -days 365 -batch -config ima.conf -out
custom_ima.csr -keyout custom_ima.priv
```

4. **オプション**: **ima.conf** ファイルの内容を確認するには、次のコマンドを実行します。

```
# cat ima.conf
[ req ]
default_bits = 2048
distinguished_name = req_distinguished_name
prompt = no
string_mask = utf8only
x509_extensions = code_signing

[ req_distinguished_name ]
O = YOUR_ORG
CN = YOUR_COMMON_NAME IMA signing key
emailAddress = YOUR_EMAIL
```

```
[ code_signing ]
basicConstraints=critical,CA:FALSE
keyUsage=digitalSignature
subjectKeyIdentifier=hash
authorityKeyIdentifier=keyid:always,issuer
```

5. IMA CA 秘密鍵を使用して CSR に署名し、IMA コード署名証明書を作成します。

```
# openssl x509 -req -in custom_ima.csr -days 365 -extfile ima.conf -extensions
code_signing -CA custom_ima_ca.der -CAkey custom_ima_ca.priv -CAcreateserial -
outform DER -out ima.der
```

## 21.10. UEFI システム用のカスタム署名付き IMA ポリシーのデプロイ

セキュアブート環境では、カスタム IMA 鍵で署名された署名付き IMA ポリシーのみをロードすることをお勧めします。

**前提条件**

- MOK リストにカスタム IMA 鍵が含まれている。ガイダンスについては、公開鍵を MOK リストに追加することでターゲットシステムで公開鍵を登録する手順 を参照してください。
- システムにインストールされているカーネルのバージョンが 5.14.0-335 以降である。

**手順**

1. Secure Boot を有効にします。
2. **ima_policy=secure_boot** カーネルパラメーターを永続的に追加します。
   手順については、sysctl を使用したカーネルパラメーターの永続的な設定 を参照してください。
3. 次のコマンドを実行して、IMA ポリシーを準備します。

```
# evmctl ima_sign /etc/sysconfig/ima-policy -k
<PATH_TO_YOUR_CUSTOM_IMA_KEY>
Place your public certificate under /etc/keys/ima/ and add it to the .ima keyring
```

4. 次のコマンドを実行して、カスタム IMA コード署名鍵を使用してポリシーに署名します。

```
# keyctl padd asymmetric CUSTOM_IMA1 %:.ima < /etc/ima/keys/my_ima.cer
```

5. 次のコマンドを実行して、IMA ポリシーをロードします。

```
# echo /etc/sysconfig/ima-policy > /sys/kernel/security/ima/policy
# echo $?
0
```

# 第22章 SYSTEMD を使用してアプリケーションが使用するリソースを管理する

RHEL 9 では、**cgroup** 階層のシステムを **systemd** ユニットツリーにバインドすることにより、リソース管理設定をプロセスレベルからアプリケーションレベルに移行します。したがって、システムリソースは、**systemctl** コマンドを使用するか、**systemd** ユニットファイルを変更して管理できます。

これを実現するために、**systemd** はユニットファイルから、または **systemctl** コマンドを介して直接さまざまな設定オプションを取得します。次に、**systemd** は、Linux カーネルシステムコールと **cgroups** や **namespaces** などの機能を使用して、これらのオプションを特定のプロセスグループに適用します。

**注記**

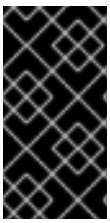
次のマニュアルページで、**systemd** の設定オプションの完全なセットを確認できます。

- **systemd.resource-control(5)**
- **systemd.exec(5)**

## 22.1. リソース管理における SYSTEMD のロール

**systemd** のコア機能は、サービスの管理と監視です。**systemd** システムとサービスマネージャーは以下のことを行います。

- ブートプロセス中に、適切なタイミングで正しい順序で管理対象サービスを起動します。
- 管理対象サービスをスムーズに実行し、サービスが基盤となるハードウェアプラットフォームを最適に使用できるようにします。
- リソース管理ポリシーを定義する機能を提供します。
- サービスのパフォーマンスを向上できる、さまざまなオプションを調整する機能を提供します。



**重要**

一般に、Red Hat では、システムリソースの使用を制御するために **systemd** を使用することを推奨します。特別な場合にのみ、**cgroups** 仮想ファイルシステムを手動で設定する必要があります。たとえば、**cgroup-v2** 階層に同等のものがない **cgroup-v1** コントローラーを使用する必要がある場合です。

## 22.2. システムソースの配分モデル

システムリソースの配分を変更するには、以下の配分モデルの 1 つまたは複数を適用できます。

**重み**

全サブグループの重みを合計し、各サブグループに、合計に対する重み比率に応じたリソースを配分します。
たとえば、10 個の cgroup があり、それぞれの重みが 100 の場合、合計は 1000 になります。各 cgroup は、リソースの 10 分の 1 を受け取ります。

重みは通常、ステートレスリソースの配分に使用されます。たとえば、**CPUWeight=** オプションは、このリソース配分モデルの実装です。

**制限**

cgroup は、設定された量のリソースを消費できます。サブグループ制限の合計は、親 cgroup の制限を超える可能性があります。したがって、このモデルではリソースをオーバーコミットする可能性があります。
たとえば、**MemoryMax=** オプションは、このリソース配分モデルの実装です。

**保護**

cgroup のリソースの保護された量を設定できます。リソースの使用状況が保護されるリソース量を下回る場合には、カーネルは、同じリソースを取得しようしている他の cgroup が優先されるように、この cgroup にペナルティーを課します。オーバーコミットも可能です。
たとえば、**MemoryLow=** オプションは、このリソース配分モデルの実装です。

**割り当て**

リソースに上限がある場合に、絶対量を特別に割り当てます。オーバーコミットはできません。
Linux でこのリソースのタイプとして、リアルタイムの予算などが例として挙げられます。

**ユニットファイルオプション**

リソース制御設定の設定。
たとえば、**CPUAccounting=** や **CPUQuota=** などのオプションを使用して CPU リソースを設定できます。同様に、**AllowedMemoryNodes=** や **IOAccounting=** などのオプションを使用して、メモリーまたは I/O リソースを設定できます。

## 22.3. SYSTEMD を使用したシステムリソースの割り当て

**手順**

サービスのユニットファイルオプションの必要な値を変更するには、ユニットファイルの値を調整するか、**systemctl** コマンドを使用します。

1. 選択したサービスに割り当てられた値を確認してください。

```
# systemctl show --property <unit file option> <service name>
```

2. CPU 時間割り当てポリシーのオプションで必要な値を設定します。

```
# systemctl set-property <service name> <unit file option>=<value>
```

**検証手順**

- 選択したサービスに新しく割り当てられた値を確認してください。

```
# systemctl show --property <unit file option> <service name>
```

**関連情報**

- **systemd.resource-control(5)** および **systemd.exec(5)** man ページ

## 22.4. CGROUPS の SYSTEMD 階層の概要

バックエンドでは、**systemd** システムおよびサービスマネージャーが **slice**、**scope**、および **service** ユニットを使用して、コントロールグループ内のプロセスを整理および構造化します。カスタムユニッ

トファイルを作成するか、**systemctl** コマンドを使用して、この階層をさらに変更できます。また、**systemd** は、重要なカーネルリソースコントローラーの階層を **/sys/fs/cgroup/** ディレクトリーに自動的にマウントします。

リソース制御には、次の 3 つの **systemd** ユニットタイプを使用できます。

Service

ユニット設定ファイルに従って **systemd** が起動したプロセスまたはプロセスのグループ。
サービスは、指定したプロセスをカプセル化して、1つのセットとして起動および停止できるようにします。サービスの名前は以下の方法で指定されます。

```
<name>.service
```

**範囲**

外部で作成されたプロセスのグループ。スコープは、**fork()** 関数を介して任意のプロセスで開始および停止されたプロセスをカプセル化し、ランタイム時に **systemd** で登録します。たとえば、ユーザーセッション、コンテナー、および仮想マシンはスコープとして処理されます。スコープの名前は以下のように指定されます。

```
<name>.scope
```

**スライス**

階層的に編成されたユニットのグループ。スライスは、スコープおよびサービスを配置する階層を編成します。
実際のプロセスはスコープまたはサービスに含まれます。スライスユニットの名前はすべて、階層内の場所へのパスに対応します。

ハイフン (**-**) 文字は、**-.slice** ルートスライスからスライスへのパスコンポーネントの区切り文字として機能します。以下の例では、下記の点を前提としています。

```
<parent-name>.slice
```

**parent-name.slice** は **parent.slice** のサブスライスで、**-.slice** ルートスライスのサブスライスです。**parent-name.slice** には、**parent-name-name2.slice** という独自のサブスライスを指定できます。

**サービス**、**スコープ**、**スライス** ユニットは、コントロールグループ階層のオブジェクトに直接マッピングされます。これらのユニットがアクティブになると、ユニット名から構築されるグループパスを制御するように直接マッピングされます。

以下は、コントロールグループ階層の省略形の例です。

```
Control group /:
-.slice
├─user.slice
│ ├─user-42.slice
│ │ ├─session-c1.scope
│ │ │ ├─ 967 gdm-session-worker [pam/gdm-launch-environment]
│ │ │ ├─1035 /usr/libexec/gdm-x-session gnome-session --autostart
/usr/share/gdm/greeter/autostart
│ │ │ ├─1054 /usr/libexec/Xorg vt1 -displayfd 3 -auth /run/user/42/gdm/Xauthority -background none
-noreset -keeptty -verbose 3
```

```
  │ │ │ ├─1212 /usr/libexec/gnome-session-binary --autostart /usr/share/gdm/greeter/autostart
  │ │ │ ├─1369 /usr/bin/gnome-shell
  │ │ │ ├─1732 ibus-daemon --xim --panel disable
  │ │ │ ├─1752 /usr/libexec/ibus-dconf
  │ │ │ ├─1762 /usr/libexec/ibus-x11 --kill-daemon
  │ │ │ ├─1912 /usr/libexec/gsd-xsettings
  │ │ │ ├─1917 /usr/libexec/gsd-a11y-settings
  │ │ │ ├─1920 /usr/libexec/gsd-clipboard
  …
  ├─init.scope
  │ └─1 /usr/lib/systemd/systemd --switched-root --system --deserialize 18
  └─system.slice
    ├─rngd.service
    │ └─800 /sbin/rngd -f
    ├─systemd-udevd.service
    │ └─659 /usr/lib/systemd/systemd-udevd
    ├─chronyd.service
    │ └─823 /usr/sbin/chronyd
    ├─auditd.service
    │ ├─761 /sbin/auditd
    │ └─763 /usr/sbin/sedispatch
    ├─accounts-daemon.service
    │ └─876 /usr/libexec/accounts-daemon
    ├─example.service
    │ ├─ 929 /bin/bash /home/jdoe/example.sh
    │ └─4902 sleep 1
    …
```

上記の例では、サービスおよびスコープにプロセスが含まれており、独自のプロセスを含まないスライスに置かれていることを示しています。

**関連情報**

- Red Hat Enterprise Linux での **systemctl によるシステムサービス管理**
- Linux カーネルリソースコントローラーとは
- **systemd.resource-control(5)**、**systemd.exec(5)**、**cgroups(7)**、**fork()**、**fork(2)** man ページ
- コントロールグループについて

## 22.5. SYSTEMD ユニットのリスト表示

**systemd** システムおよびサービスマネージャーを使用して、そのユニットを一覧表示します。

**手順**

- **systemctl** ユーティリティーを使用して、システム上のすべてのアクティブなユニットをリスト表示します。ターミナルは、次の例のような出力を返します。

```
# systemctl
UNIT                                LOAD   ACTIVE SUB       DESCRIPTION
…
init.scope                          loaded active running   System and Service Manager
session-2.scope                       loaded active running   Session 2 of user jdoe
```

```
abrt-ccpp.service                          loaded active exited    Install ABRT coredump hook
abrt-oops.service                          loaded active running   ABRT kernel log watcher
abrt-vmcore.service                        loaded active exited    Harvest vmcores for ABRT
abrt-xorg.service                          loaded active running   ABRT Xorg log watcher
…
-.slice                                  loaded active active    Root Slice
machine.slice                            loaded active active    Virtual Machine and Container
Slice system-getty.slice                                         loaded active active
system-getty.slice
system-lvm2\x2dpvscan.slice                 loaded active active    system-
lvm2\x2dpvscan.slice
system-sshd\x2dkeygen.slice                 loaded active active    system-
sshd\x2dkeygen.slice
system-systemd\x2dhibernate\x2dresume.slice       loaded active active    system-
systemd\x2dhibernate\x2dresume>
system-user\x2druntime\x2ddir.slice            loaded active active    system-
user\x2druntime\x2ddir.slice
system.slice                               loaded active active    System Slice
user-1000.slice                            loaded active active    User Slice of UID 1000
user-42.slice                              loaded active active    User Slice of UID 42
user.slice                                 loaded active active    User and Session Slice
…
```

**UNIT**

コントロールグループ階層内のユニットの位置も反映するユニットの名前です。リソース制御に関連するユニットは、**スライス**、**スコープ** および **サービス** です。

**LOAD**

ユニット設定ファイルが正しく読み込まれたかどうかを示します。ユニットファイルの読み込みに失敗した場合には、フィールドの状態が **loaded** ではなく **error** になります。ユニットの読み込みの状態は他に **stub**, **merged**, and **masked** などがあります。

**ACTIVE**

ユニットのアクティベーションの状態 (概要レベル)。こちらは **SUB** を一般化したものです。

**SUB**

ユニットのアクティベーションの状態 (詳細レベル)。許容値の範囲は、ユニットタイプによって異なります。

**DESCRIPTION**

ユニットのコンテンツおよび機能の説明。

- すべてのアクティブなユニットと非アクティブなユニットをリスト表示します。

```
# systemctl --all
```

- 出力の情報量を限定します。

```
# systemctl --type service,masked
```

**--type** オプションでは、**サービス** および **スライス** などのユニットタイプのコンマ区切りのリスト、または **読み込み済み**、**マスク済み** などのユニットの読み込み状態が必要です。

**関連情報**

- RHEL での systemctl によるシステムサービス管理
- **systemd.resource-control(5)**、**systemd.exec(5)** man ページ

## 22.6. SYSTEMD CGROUPS 階層の表示

コントロールグループ (**cgroups**) の階層と、特定の **cgroups** で実行しているプロセスを表示します。

**手順**

- **systemd-cgls** コマンドを使用して、システム上の **cgroups** 階層全体を表示します。

```
# systemd-cgls
Control group /:
-.slice
├─user.slice
│ ├─user-42.slice
│ │ ├─session-c1.scope
│ │ │ ├─ 965 gdm-session-worker [pam/gdm-launch-environment]
│ │ │ └─1040 /usr/libexec/gdm-x-session gnome-session --autostart
/usr/share/gdm/greeter/autostart
…
├─init.scope
│ └─1 /usr/lib/systemd/systemd --switched-root --system --deserialize 18
└─system.slice
  …
  ├─example.service
  │ ├─6882 /bin/bash /home/jdoe/example.sh
  │ └─6902 sleep 1
  ├─systemd-journald.service
  │ └─629 /usr/lib/systemd/systemd-journald
  …
```

この出力例では **cgroups** 階層全体を返します。この階層は、**slices** で形成される最も高いレベルです。

- **systemd-cgls <resource_controller>** コマンドを使用して、リソースコントローラーによってフィルター処理された **cgroups** 階層を表示します。

```
# systemd-cgls memory
Controller memory; Control group /:
├─1 /usr/lib/systemd/systemd --switched-root --system --deserialize 18
├─user.slice
│ ├─user-42.slice
│ │ ├─session-c1.scope
│ │ │ ├─ 965 gdm-session-worker [pam/gdm-launch-environment]
…
└─system.slice
  |
  …
  ├─chronyd.service
  │ └─844 /usr/sbin/chronyd
  ├─example.service
```

```
  ├─8914 /bin/bash /home/jdoe/example.sh
  └─8916 sleep 1
…
```

この出力例では、選択したコントローラーと対話するサービスのリストを表示します。

- **systemctl status <system_unit>** コマンドを使用して、特定のユニットと **cgroups** 階層のその部分に関する詳細情報を表示します。

```
# systemctl status example.service
● example.service - My example service
   Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/example.service; enabled; vendor preset:
disabled)
   Active: active (running) since Tue 2019-04-16 12:12:39 CEST; 3s ago
 Main PID: 17737 (bash)
    Tasks: 2 (limit: 11522)
   Memory: 496.0K (limit: 1.5M)
   CGroup: /system.slice/example.service
           ├─17737 /bin/bash /home/jdoe/example.sh
           └─17743 sleep 1
Apr 16 12:12:39 redhat systemd[1]: Started My example service.
Apr 16 12:12:39 redhat bash[17737]: The current time is Tue Apr 16 12:12:39 CEST 2019
Apr 16 12:12:40 redhat bash[17737]: The current time is Tue Apr 16 12:12:40 CEST 2019
```

**関連情報**

- Linux カーネルリソースコントローラーとは
- **systemd.resource-control(5)** および **cgroups(7)** man ページ

## 22.7. プロセスの CGROUP の表示

プロセスがどの **コントロールグループ** (**cgroup**) に属しているかを知ることができます。続いて **cgroup** をチェックして、使用するコントローラーとコントローラー固有の設定を確認できます。

**手順**

1. プロセスが属する **cgroup** を表示するには、**# cat proc/<PID>/cgroup** コマンドを実行します。

```
# cat /proc/2467/cgroup
0::/system.slice/example.service
```

この出力例は、対象のプロセスに関するものです。今回の例では、**example.service** ユニットに属する **PID 2467** で識別されるプロセスです。**systemd** ユニットファイルの仕様で定義されているように、適切なコントロールグループにプロセスが置かれているかどうかを判断できます。

2. **cgroup** が使用するコントローラーとそれぞれの設定ファイルを表示するには、**cgroup** ディレクトリーを確認します。

```
# cat /sys/fs/cgroup/system.slice/example.service/cgroup.controllers
memory pids

# ls /sys/fs/cgroup/system.slice/example.service/
```

```
cgroup.controllers
cgroup.events
…
cpu.pressure
cpu.stat
io.pressure
memory.current
memory.events
…
pids.current
pids.events
pids.max
```

**注記**

**cgroups** のバージョン 1 階層は、コントローラーごとのモデルを使用します。したがって、**/proc/PID/cgroup** ファイルからの出力には、PID が属する各コントローラーの下の **cgroups** が表示されます。それぞれの **cgroups** は、**/sys/fs/cgroup/<controller_name>/** のコントローラーディレクトリーにあります。

**関連情報**

- **cgroups(7)** の man ページ
- Linux カーネルリソースコントローラーとは
- **/usr/share/doc/kernel-doc-<kernel_version>/Documentation/admin-guide/cgroup-v2.rst** ファイルのドキュメント (**kernel-doc** パッケージのインストール後)

## 22.8. リソース消費の監視

現在実行中のコントロールグループ (**cgroups**) とそのリソース消費のリストをリアルタイムで表示します。

**手順**

1. **systemd-cgtop** コマンドを使用して、現在実行中の **cgroups** の動的アカウントを表示します。

```
# systemd-cgtop
Control Group                          Tasks   %CPU   Memory  Input/s Output/s
/                                        607   29.8     1.5G        -        -
/system.slice                            125      -   428.7M        -        -
/system.slice/ModemManager.service         3      -     8.6M        -        -
/system.slice/NetworkManager.service       3      -    12.8M        -        -
/system.slice/accounts-daemon.service      3      -     1.8M        -        -
/system.slice/boot.mount                   -      -    48.0K        -        -
/system.slice/chronyd.service              1      -     2.0M        -        -
/system.slice/cockpit.socket               -      -     1.3M        -        -
/system.slice/colord.service               3      -     3.5M        -        -
/system.slice/crond.service                1      -     1.8M        -        -
/system.slice/cups.service                 1      -     3.1M        -        -
/system.slice/dev-hugepages.mount          -      -   244.0K        -        -
/system.slice/dev-mapper-rhel\x2dswap.swap -      -   912.0K        -        -
```

```
/system.slice/dev-mqueue.mount            -      -    48.0K       -       -
/system.slice/example.service             2      -     2.0M       -       -
/system.slice/firewalld.service           2      -    28.8M       -       -
...
```

この出力例では、現在実行中の **cgroups** が、リソースの使用状況 (CPU、メモリー、ディスク I/O 負荷) 別に表示されています。デフォルトでは 1 秒ごとにリストが更新されます。そのため、コントロールグループごとに、実際のリソースの使用状況について動的な見解が得られるようになります。

**関連情報**

- **systemd-cgtop(1)** manual page

## 22.9. SYSTEMD ユニットファイルを使用してアプリケーションの制限を設定する

**systemd** サービスマネージャーは、既存または実行中の各ユニットを監視し、それらのコントロールグループを作成します。ユニットの設定ファイルは **/usr/lib/systemd/system/** ディレクトリーにあります。

ユニットファイルを手動で変更し、以下を行うことができます。

- 制限を設定する。
- 優先度を設定する。
- プロセスのグループのハードウェアリソースへのアクセスを制御する。

**前提条件**

- **root** 権限があります。

**手順**

1. **/usr/lib/systemd/system/example.service** ファイルを編集して、サービスのメモリー使用量を制限します。

```
…
[Service]
MemoryMax=1500K
…
```

この設定により、コントロールグループ内のプロセスが超えることのできない最大メモリーの制限が設定されます。**example.service** サービスは、このようなコントロールグループの一部であり、制限を課せられています。測定単位のキロバイト、メガバイト、ギガバイト、またはテラバイトを指定するには、接尾辞 K、M、G、または T を使用できます。

2. すべてのユニット設定ファイルを再読み込みします。

```
# systemctl daemon-reload
```

3. サービスを再起動します。

```
# systemctl restart example.service
```

**検証**

1. 変更が有効になったことを確認します。

```
# cat /sys/fs/cgroup/system.slice/example.service/memory.max
1536000
```

この出力例では、メモリー消費量が約 1,500 KB に制限されていることを示しています。

**関連情報**

- コントロールグループについて
- Red Hat Enterprise Linux での systemctl によるシステムサービス管理
- **systemd.resource-control(5)**、**systemd.exec(5)**、および **cgroups(7)** man ページ

## 22.10. SYSTEMCTL コマンドを使用してアプリケーションに制限を設定する

CPU アフィニティーの設定は、特定のプロセスにアクセスできる CPU を一部だけに制限する場合に役立ちます。実際には、CPU スケジューラーでは、プロセスのアフィニティーマスク上にない CPU で実行するプロセスはスケジューリングされません。

デフォルトの CPU アフィニティーマスクは、**systemd** が管理するすべてのサービスに適用されます。

特定の **systemd** サービスの CPU アフィニティーマスクを設定するために、**systemd** は **CPUAffinity=** を以下のものとして提供します。

- ユニットファイルオプション
- **/etc/systemd/system.conf** ファイルの [Manager] セクションの設定オプション

**CPUAffinity=** ユニットファイルオプションでは、マージしてアフィニティーマスクとして使用する CPU または CPU 範囲のリストを設定します。

**手順**

**CPUAffinity** ユニットファイルオプションを使用して、特定の **systemd** サービスの CPU アフィニティーマスクを設定するには、次の手順を実行します。

1. 選択したサービスで **CPUAffinity** ユニットファイルオプションの値を確認します。

```
$ systemctl show --property <CPU affinity configuration option> <service name>
```

2. root ユーザーに切り替え、アフィニティーマスクとして使用する CPU 範囲に応じて、**CPUAffinity** ユニットファイルオプションの必要な値を設定します。

```
# systemctl set-property <service name> CPUAffinity=<value>
```

3. サービスを再起動して変更を適用します。

```
# systemctl restart <service name>
```

**関連情報**

- **systemd.resource-control(5)**、**systemd.exec(5)**、**cgroups(7)** man ページ

## 22.11. マネージャー設定によるグローバルなデフォルトの CPU アフィニティーの設定

**/etc/systemd/system.conf** ファイルの **CPUAffinity** オプションは、プロセス ID 番号 (PID) 1 と、PID1 からフォークされたすべてのプロセスのアフィニティーマスクを定義します。これにより、各サービスで **CPUAffinity** を上書きできます。

**/etc/systemd/system.conf** ファイルを使用して、すべての **systemd** サービスのデフォルトの CPU アフィニティーマスクを設定するには、次の手順を実行します。

1. **/etc/systemd/system.conf** ファイルの [Manager] セクションの **CPUAffinity=** オプションに CPU 番号を設定します。
2. 編集したファイルを保存し、**systemd** サービスをリロードします。

```
# systemctl daemon-reload
```

3. サーバーを再起動して、変更を適用します。

**関連情報**

- **systemd.resource-control(5)** および **systemd.exec(5)** man ページ

## 22.12. SYSTEMD を使用した NUMA ポリシーの設定

Non-Uniform Memory Access (NUMA) は、コンピューターメモリーのサブシステム設計で、この設計ではメモリーのアクセス時間は、プロセッサーからの物理メモリーの場所により異なります。

CPU に近いメモリーは、別の CPU のローカルにあるメモリーや、一連の CPU 間で共有されているメモリーと比べ、レイテンシーが低くなっています (外部メモリー)。

Linux カーネルでは、NUMA ポリシーを使用して、カーネルがプロセス用に物理メモリーを割り当てる場所 (例: NUMA ノード) を制御します。

**systemd** は、サービスのメモリー割り当てポリシーを制御するためのユニットファイルオプション **NUMAPolicy** および **NUMAMask** を提供します。

**手順**

**NUMAPolicy** ユニットファイルオプションで NUMA メモリーポリシーを設定するには以下を実行します。

1. 選択したサービスで **NUMAPolicy** ユニットファイルオプションの値を確認します。

```
$ systemctl show --property <NUMA policy configuration option> <service name>
```

2. root として、**NUMAPolicy** ユニットファイルオプションに必要なポリシータイプを設定します。

```
# systemctl set-property <service name> NUMAPolicy=<value>
```

3. サービスを再起動して変更を適用します。

```
# systemctl restart <service name>
```

[Manager] 設定オプションを使用してグローバルな **NUMAPolicy** を設定するには、以下を実行します。

1. **/etc/systemd/system.conf** ファイルで [Manager] セクションにある **NUMAPolicy** オプションを検索します。
2. ポリシータイプを編集してファイルを保存します。
3. **systemd** 設定をリロードします。

```
# systemd daemon-reload
```

4. サーバーを再起動します。

**重要**

**bind** などの厳密な NUMA ポリシーを設定する場合は、**CPUAffinity=** ユニットファイルオプションも適切に設定されていることを確認してください。

**関連情報**

- systemctl コマンドを使用してアプリケーションに制限を設定する
- **systemd.resource-control(5)**、**systemd.exec(5)**、および **set_mempolicy(2)** の man ページ

## 22.13. SYSTEMD の NUMA ポリシー設定オプション

**Systemd** で以下のオプションを指定して、NUMA ポリシーを設定します。

**NUMAPolicy**

実行したプロセスの NUMA メモリーポリシーを制御します。次のポリシータイプを使用できます。

- default
- preferred
- bind
- interleave
- local

**NUMAMask**

選択した NUMA ポリシーに関連付けられた NUMA ノードリストを制御します。
次のポリシーには **NUMAMask** オプションを指定する必要がないことに注意してください。

- default

- local

優先ポリシーの場合、このリストで指定できるのは単一の NUMA ノードのみです。

**関連情報**

- **systemd.resource-control(5)**、**systemd.exec(5)**、および **set_mempolicy(2)** の man ページ

## 22.14. SYSTEMD-RUN コマンドを使用した一時的な CGROUP の作成

一時的な **cgroups** は、ランタイム時にユニット (サービスまたはスコープ) が消費するリソースに制限を設定します。

**手順**

- 一時的なコントロールグループを作成するには、以下の形式で **systemd-run** コマンドを使用します。

```
# systemd-run --unit=<name> --slice=<name>.slice <command>
```

このコマンドは、一時的なサービスまたはスコープユニットを作成し、開始し、そのユニットでカスタムコマンドを実行します。

  - **--unit=<name>** オプションは、ユニットに名前を指定します。**--unit** が指定されていないと、名前は自動的に生成されます。
  - **--slice=<name>.slice** オプションは、サービスまたはスコープユニットを指定のスライスのメンバーにします。**<name>.slice** は、既存のスライスの名前 (**systemctl -t slice** の出力に表示) に置き換えるか、一意の名前を指定して新規スライスを作成します。デフォルトでは、サービスおよびスコープは **system.slice** のメンバーとして作成されます。
  - **<command>** は、サービスまたはスコープユニットに入力するコマンドに置き換えます。以下のような、サービスまたはスコープが正常に作成され開始したことを確認するメッセージが表示されます。

```
# Running as unit <name>.service
```

- **オプション**: ランタイム情報を収集するため、プロセスが終了した後もユニットを実行したままにします。

```
# systemd-run --unit=<name> --slice=<name>.slice --remain-after-exit <command>
```

このコマンドは、一時的なサービスユニットを作成して起動し、そのユニットでカスタムコマンドを実行します。**--remain-after-exit** オプションを使用すると、プロセスの終了後もサービスが実行し続けます。

**関連情報**

- コントロールグループとは
- RHEL での systemd の管理
- **systemd-run(1)** の man ページ

## 22.15. 一時的なコントロールグループの削除

**systemd** システムおよびサービスマネージャーを使用して、プロセスのグループのハードウェアリソースへのアクセスを制限して優先順位を付け、制御する必要がなくなった場合に、一時的なコントロールグループ (**cgroup**) を削除できます。

一時的な **cgroups** は、サービスまたはスコープユニットに含まれる全プロセスが完了すると、自動的に解放されます。

**手順**

- サービスユニットの全プロセスを停止するには、以下を実行します。

```
# systemctl stop <name>.service
```

- ユニットプロセスを 1 つ以上終了するには、以下を実行します。

```
# systemctl kill <name>.service --kill-who=PID,... --signal=<signal>
```

このコマンドは **--kill-who** オプションを使用して、コントロールグループから終了するプロセスを選択します。複数のプロセスを同時に強制終了するには、PID のコンマ区切りのリストを指定します。**--signal** オプションは、指定されたプロセスに送信する POSIX シグナルのタイプを決定します。デフォルトのシグナルは **SIGTERM** です。

**関連情報**

- コントロールグループとは
- Linux カーネルリソースコントローラーとは
- **systemd.resource-control(5)** および **cgroups(7)** man ページ
- コントロールグループについて
- RHEL での **systemd の管理**

# 第23章 コントロールグループについて

コントロールグループ (**cgroups**) カーネル機能を使用すると、アプリケーションのリソース使用状況を制御して、より効率的に使用できます。

**cgroups** は、以下のタスクで使用できます。

- システムリソース割り当ての制限を設定します。
- 特定のプロセスへのハードウェアリソースの割り当てにおける優先順位を設定する。
- 特定のプロセスをハードウェアリソースの取得から分離する。

## 23.1. コントロールグループの概要

**コントロールグループ** の Linux カーネル機能を使用して、プロセスを階層的に順序付けされたグループ (**cgroups**) に編成できます。階層 (コントロールグループツリー) は、デフォルトで **/sys/fs/cgroup/** ディレクトリーにマウントされている **cgroups** 仮想ファイルシステムに構造を提供して定義します。

**systemd** サービスマネージャーは、**cgroups** を使用して、管理するすべてのユニットとサービスを整理します。**/sys/fs/cgroup/** ディレクトリーのサブディレクトリーを作成および削除することで、**cgroups** の階層を手動で管理できます。

続いて、カーネルのリソースコントローラーは、**cgroups** 内のプロセスのシステムリソースを制限、優先順位付け、または割り当てることで、これらのプロセスの動作を変更します。これらのリソースには以下が含まれます。

- CPU 時間
- メモリー
- ネットワーク帯域幅
- これらのリソースの組み合わせ

**cgroups** の主なユースケースは、システムプロセスを集約し、アプリケーションとユーザー間でハードウェアリソースを分割することです。これにより、環境の効率、安定性、およびセキュリティーを強化できます。

**コントロールグループ 1**

**コントロールグループバージョン 1** (**cgroups-v1**) はリソースごとのコントローラー階層を提供します。つまり、各リソース (CPU、メモリー、I/O など) には、独自のコントロールグループ階層があります。各リソースの管理で、1 つのコントローラーが別のコントローラーと調整できるように、異なるコントロールグループ階層を組み合わせることができます。ただし、2 つのコントローラーが異なるプロセス階層に属する場合、適切な調整が制限されます。
**cgroups-v1** コントローラーは、長期間に渡って開発されているため、制御ファイルの動作と命名は均一ではありません。

**コントロールグループ 2**

Control groups version 2 (**cgroups-v2**) は、すべてのリソースコントローラーがマウントされる単一のコントロールグループ階層を提供します。
コントロールファイルの動作と命名は、さまざまなコントローラーにおいて一貫性があります。

**重要**

RHEL 9 では、デフォルトで **cgroups-v2** をマウントして使用します。

**関連情報**

- カーネルリソースコントローラーの概要
- **cgroups(7)** の man ページ
- cgroups-v1
- cgroups-v2

## 23.2. カーネルリソースコントローラーの概要

カーネルリソースコントローラーは、コントロールグループの機能を有効化します。RHEL 9 は、**コントロールグループバージョン 1** (**cgroups-v1**) および **コントロールグループバージョン 2** (**cgroups-v2**) のさまざまなコントローラーをサポートします。

コントロールグループサブシステムとも呼ばれるリソースコントローラーは、1 つのリソース (CPU 時間、メモリー、ネットワーク帯域幅、ディスク I/O など) を表すカーネルサブシステムです。Linux カーネルは、**systemd** サービスマネージャーによって自動的にマウントされるリソースコントローラーの範囲を提供します。現在マウントされているリソースコントローラーの一覧は、**/proc/cgroups** ファイルで確認できます。

**cgroups-v1 で利用可能なコントローラー**

**blkio**
: ブロックデバイスへの入出力アクセスを制限します。

**cpu**
: コントロールグループのタスク用の Completely Fair Scheduler (CFS) パラメーターを調整します。**cpu** コントローラーは、同じマウント上の **cpuacct** コントローラーとともにマウントされます。

**cpuacct**
: コントロールグループ内のタスクが使用する CPU リソースに関する自動レポートを作成します。**cpuacct** コントローラーは、同じマウント上の **cpu** コントローラーとともにマウントされます。

**cpuset**
: コントロールグループタスクが、指定された CPU のサブセットでのみ実行されるように制限し、指定されたメモリーノードでのみメモリーを使用するようにタスクに指示します。

**devices**
: コントロールグループ内のタスクのデバイスへのアクセスを制御します。

**freezer**
: コントロールグループ内のタスクを一時停止または再開します。

**memory**
: コントロールグループ内のタスクによるメモリー使用の制限を設定し、それらのタスクが使用したメモリーリソースに関する自動レポートを生成します。

**net_cls**
: 特定のコントロールグループタスクから発信されたパケットを識別するために Linux トラフィック

コントローラー (**tc** コマンド) を有効化するクラス識別子 (**classid**) でネットワークパケットをタグ付けします。**net_cls** のサブシステム **net_ filter** (iptables) でも、このタグを使用して、そのようなパケットに対するアクションを実行することができます。**net_filter** は、ファイアウォール識別子 (**fwid**) でネットワークソケットをタグ付けします。これにより、Linux ファイアウォールは、(**iptables** コマンドを使用して) 特定のコントロールグループタスクから発信されたパケットを識別できるようになります。

**net_prio**

ネットワークトラフィックの優先度を設定します。

**pids**

コントロールグループ内の多数のプロセスとその子に制限を設定します。

**perf_event**

**perf** パフォーマンス監視およびレポートユーティリティーにより、監視するタスクをグループ化します。

**rdma**

コントロールグループ内の Remote Direct Memory Access/InfiniB 固有リソースに制限を設定します。

**hugetlb**

コントロールグループ内のタスクによる大容量の仮想メモリーページの使用を制限する場合に使用できます。

**cgroups-v2 で利用可能なコントローラー**

**io**

ブロックデバイスへの入出力アクセスを制限します。

**memory**

コントロールグループ内のタスクによるメモリー使用の制限を設定し、それらのタスクが使用したメモリーリソースに関する自動レポートを生成します。

**pids**

コントロールグループ内の多数のプロセスとその子に制限を設定します。

**rdma**

コントロールグループ内の Remote Direct Memory Access/InfiniB 固有リソースに制限を設定します。

**cpu**

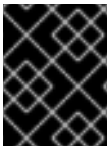
コントロールグループのタスクの Completely Fair Scheduler (CFS) パラメーターを調整し、コントロールグループのタスクで使用される CPU リソースに関する自動レポートを作成します。

**cpuset**

コントロールグループタスクが、指定された CPU のサブセットでのみ実行されるように制限し、指定されたメモリーノードでのみメモリーを使用するようにタスクに指示します。新しいパーティション機能により、コア機能 (**cpus{,.effective}**, **mems{,.effective}**) のみがサポートされます。

**perf_event**

**perf** パフォーマンス監視およびレポートユーティリティーで監視するタスクをグループ化します。**perf_event** は、v2 階層で自動的に有効化されています。



**重要**

リソースコントローラーは、**cgroups-v1** 階層または **cgroups-v 2** 階層のいずれかで使用できますが、両方を同時に使用することはできません。

**関連情報**

- **cgroups(7)** の man ページ
- **/usr/share/doc/kernel-doc-<kernel_version>/Documentation/cgroups-v1/** ディレクトリー内のドキュメント (**kernel-doc** パッケージをインストールした後)。

## 23.3. 名前空間の概要

名前空間は、ソフトウェアオブジェクトを整理および特定するための最も重要な方法の 1 つです。

名前空間は、グローバルシステムリソース (マウントポイント、ネットワークデバイス、ホスト名など) を抽象化してラップします。これにより、グローバルリソースの独自の分離されたインスタンスを含む名前空間内のプロセスに表示されます。名前空間を使用する最も一般的なテクノロジーの 1 つとしてコンテナーが挙げられます。

特定のグローバルリソースへの変更は、その名前空間のプロセスにのみ表示され、残りのシステムまたは他の名前空間には影響しません。

プロセスがどの名前空間に所属するかを確認するには、**/proc/<PID>/ns/** ディレクトリーのシンボリックリンクを確認します。

**表23.1 分離するサポート対象の名前空間およびリソース**

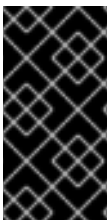
| 名前空間 | 分離 |
|---|---|
| Mount | マウントポイント |
| UTS | ホスト名および NIS ドメイン名 |
| IPC | System V IPC、POSIX メッセージキュー |
| PID | プロセス ID |
| Network | ネットワークデバイス、スタック、ポートなど。 |
| User | ユーザーおよびグループ ID |
| Control groups | コントロールグループの root ディレクトリー |

**関連情報**

- **namespaces(7)** および **cgroup_namespaces(7)** の man ページ
- コントロールグループの概要

# 第24章 CGROUPFS を使用して CGROUP を手動で管理する

**cgroupfs** 仮想ファイルシステムにディレクトリーを作成することにより、システム上の **cgroup** 階層を管理できます。ファイルシステムはデフォルトで **/sys/fs/cgroup/** ディレクトリーにマウントされ、専用の制御ファイルで必要な設定を指定できます。



**重要**

一般に、Red Hat では、システムリソースの使用を制御するために **systemd** を使用することを推奨します。特別な場合にのみ、**cgroups** 仮想ファイルシステムを手動で設定する必要があります。たとえば、**cgroup-v2** 階層に同等のものがない **cgroup-v1** コントローラーを使用する必要がある場合です。

## 24.1. CGROUPS-V2 ファイルシステムでの CGROUP の作成とコントローラーの有効化

ディレクトリーを作成または削除したり、**cgroups** 仮想ファイルシステム内のファイルに書き込んだりすることで、control groups (**cgroups**) を管理できます。ファイルシステムは、デフォルトで **/sys/fs/cgroup/** ディレクトリーにマウントされます。**cgroups** コントローラーの設定を使用するには、子 **cgroups** に対して目的のコントローラーを有効にする必要もあります。ルート **cgroup** は、デフォルトで、その子 **cgroups** の **memory** および **pids** コントローラーを有効にしました。したがって、Red Hat は、**/sys/fs/cgroup/** ルート **cgroup** 内に少なくとも 2 つのレベルの子 **cgroups** を作成することを推奨します。このようにして、オプションで子 **cgroups** から **memory** と **pids** コントローラーを削除し、**cgroup** ファイルの組織の明確さを維持します。

**前提条件**

- root 権限がある。

**手順**

1. **/sys/fs/cgroup/Example/** ディレクトリーを作成します。

```
# mkdir /sys/fs/cgroup/Example/
```

**/sys/fs/cgroup/Example/** ディレクトリーはサブグループを定義します。**/sys/fs/cgroup/Example/** ディレクトリーを作成すると、一部の **cgroups-v2** インターフェイスファイルがディレクトリーに自動的に作成されます。**/sys/fs/cgroup/Example/** ディレクトリーには、**memory** および **pids** コントローラー用のコントローラー固有のファイルも含まれます。

2. 必要に応じて、新たに作成されたサブコントロールグループを確認します。

```
# ll /sys/fs/cgroup/Example/
-r—r—r--. 1 root root 0 Jun  1 10:33 cgroup.controllers
-r—r—r--. 1 root root 0 Jun  1 10:33 cgroup.events
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 10:33 cgroup.freeze
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 10:33 cgroup.procs
…
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 10:33 cgroup.subtree_control
-r—r—r--. 1 root root 0 Jun  1 10:33 memory.events.local
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 10:33 memory.high
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 10:33 memory.low
…
```

```
-r—r—r--. 1 root root 0 Jun  1 10:33 pids.current
-r—r—r--. 1 root root 0 Jun  1 10:33 pids.events
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 10:33 pids.max
```

出力例は、**cgroup.procs** や **cgroup.controllers** などの一般的な **cgroup** 制御インターフェイスファイルを示しています。これらのファイルは、有効なコントローラーに関係なく、すべてのコントロールグループに共通です。

**memory.high** および **pids.max** などのファイルは、**memory** および **pids** コントローラーに関連し、ルートコントロールグループ (/**sys**/**fs**/**cgroup**/) にあり、**systemd** によってデフォルトで有効になります。

デフォルトでは、新しく作成された子グループは、親 **cgroup** からすべての設定を継承します。この場合、ルート **cgroup** からの制限はありません。

3. 目的のコントローラーが /**sys**/**fs**/**cgroup**/**cgroup.controllers** ファイルで使用可能であることを確認します。

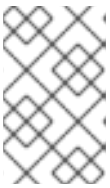
```
# cat /sys/fs/cgroup/cgroup.controllers
cpuset cpu io memory hugetlb pids rdma
```

4. 目的のコントローラーを有効にします。この例では、**cpu** および **cpuset** コントローラーです。

```
# echo "+cpu" >> /sys/fs/cgroup/cgroup.subtree_control
# echo "+cpuset" >> /sys/fs/cgroup/cgroup.subtree_control
```

これらのコマンドにより、/**sys**/**fs**/**cgroup**/ ルートコントロールグループ直下のサブグループに対して **cpu** および **cpuset** コントローラーが有効になります。新しく作成された **Example** コントロールグループを含みます。**サブグループ** で指定した各プロセスに対して、基準に基づいてコントロールチェックを適用できます。

ユーザーは任意のレベルの **cgroup.subtree_control** ファイルの内容を読み取り、直下のサブグループで有効にするコントローラーについて把握することができます。



**注記**

デフォルトでは、ルートコントロールグループの /**sys**/**fs**/**cgroup**/**cgroup.subtree_control** ファイルには **memory** と **pids** コントローラーが含まれます。

5. **Example** コントロールグループの子 **cgroups** に必要なコントローラーを有効にします。

```
# echo "+cpu +cpuset" >> /sys/fs/cgroup/Example/cgroup.subtree_control
```

このコマンドにより、直下のサブコントロールグループに、(**memory** または **pids**コントローラーではなく) CPU 時間の配分の調整に関係するコントローラー **だけ**が設定されるようになります。

6. /**sys**/**fs**/**cgroup**/**Example**/**tasks**/ ディレクトリーを作成します。

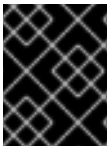
```
# mkdir /sys/fs/cgroup/Example/tasks/
```

/**sys**/**fs**/**cgroup**/**Example**/**tasks**/ ディレクトリーは、**cpu** および **cpuset** コントローラーにのみ

関連するファイルを持つサブグループを定義します。これで、このコントロールグループにプロセスを割り当て、プロセスに **cpu** および **cpuset** コントローラーオプションを利用できます。

7. 必要に応じて、子コントロールグループを検査します。

```
# ll /sys/fs/cgroup/Example/tasks
-r—r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cgroup.controllers
-r—r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cgroup.events
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cgroup.freeze
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cgroup.max.depth
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cgroup.max.descendants
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cgroup.procs
-r—r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cgroup.stat
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cgroup.subtree_control
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cgroup.threads
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cgroup.type
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cpu.max
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cpu.pressure
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cpuset.cpus
-r—r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cpuset.cpus.effective
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cpuset.cpus.partition
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cpuset.mems
-r—r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cpuset.mems.effective
-r—r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cpu.stat
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cpu.weight
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 cpu.weight.nice
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 io.pressure
-rw-r—r--. 1 root root 0 Jun  1 11:45 memory.pressure
```



**重要**

**cpu** コントローラーは、該当のサブコントロールグループに、同じ CPU の CPU 時間を取り合うプロセスが 2 つ以上ある場合にのみ、有効になります。

**検証手順**

- オプション: 目的のコントローラーのみがアクティブな状態で新しい **cgroup** を作成したことを確認します。

```
# cat /sys/fs/cgroup/Example/tasks/cgroup.controllers
cpuset cpu
```

**関連情報**

- コントロールグループについて
- Linux カーネルリソースコントローラーとは
- cgroups-v1 のマウント
- **cgroups(7)**、**sysfs(5)** の man ページ

## 24.2. CPU の重みの調整によるアプリケーションへの CPU 時間配分の制御

特定の cgroup ツリーの下にあるアプリケーションへの CPU 時間の配分を調整するには、**cpu** コントローラーの関連ファイルに値を割り当てる必要があります。

**前提条件**

- root 権限がある。
- CPU 時間の配分を制御するアプリケーションがある。
- 次の例のように、**/sys/fs/cgroup/ root control group** 内に、**child control groups** グループの 2 階層を作成しました。

```
…
├── Example
│   ├── g1
│   ├── g2
│   └── g3
…
```

- cgroups-v2 ファイルシステムでの cgroup の作成とコントローラーの有効化 で説明したのと同様に、親コントロールグループと子コントロールグループで **cpu** コントローラーを有効にしました。

**手順**

1. コントロールグループ内のリソース制限を実現するために、希望する CPU の重みを設定します。

```
# echo "150" > /sys/fs/cgroup/Example/g1/cpu.weight
# echo "100" > /sys/fs/cgroup/Example/g2/cpu.weight
# echo "50" > /sys/fs/cgroup/Example/g3/cpu.weight
```

2. アプリケーションの PID を **g1**、**g2**、および **g3** サブグループに追加します。

```
# echo "33373" > /sys/fs/cgroup/Example/g1/cgroup.procs
# echo "33374" > /sys/fs/cgroup/Example/g2/cgroup.procs
# echo "33377" > /sys/fs/cgroup/Example/g3/cgroup.procs
```

上記のコマンドの例は、目的のアプリケーションが **Example/g*/** 子 cgroup のメンバーになり、それらの cgroup の設定に従って CPU 時間を分散させることを保証します。

実行中のプロセスを持つサブ cgroups(**g1**、**g2**、**g3**) の重みは、親 cgroup のレベルで合算されます (**例**)。その後、CPU リソースはそれぞれの重みに基づいて相対的に配分されます。

その結果、すべてのプロセスが同時に実行されると、カーネルはそれぞれの cgroup の **cpu.weight** ファイルに基づいて、それぞれのプロセスに比例配分の CPU 時間を割り当てます。

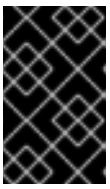
| サブ cgroup | cpu.weight ファイル | CPU 時間の割り当て |
|---|---|---|
| g1 | 150 | ~ 50% (150/300) |
| g2 | 100 | ~ 33% (100/300) |

| サブ cgroup | cpu.weight ファイル | CPU 時間の割り当て |
|---|---|---|
| g3 | 50 | ~ 16% (50/300) |

**cpu.weight** コントローラーファイルの値はパーセンテージではありません。

1 つのプロセスが実行を停止し、cgroup **g2** が実行中のプロセスのない状態になると、計算では cgroup **g2** が省略され、cgroups **g1** および **g3** の重みだけが考慮されます。

| サブ cgroup | cpu.weight ファイル | CPU 時間の割り当て |
|---|---|---|
| g1 | 150 | ~ 75% (150/200) |
| g3 | 50 | ~ 25% (50/200) |



**重要**

サブ cgroup に複数の実行中のプロセスがある場合は、それぞれの cgroup に割り当てられる CPU 時間は、その cgroup のメンバープロセスに均等に配分されます。

**検証**

1. アプリケーションが指定のコントロールグループで実行されていることを確認します。

```
# cat /proc/33373/cgroup /proc/33374/cgroup /proc/33377/cgroup
0::/Example/g1
0::/Example/g2
0::/Example/g3
```

コマンド出力は、**Example/g***/ サブ cgroups で実行される指定されたアプリケーションのプロセスを示しています。

2. スロットリングされたアプリケーションの現在の CPU 使用率を確認します。

```
# top
top - 05:17:18 up 1 day, 18:25,  1 user,  load average: 3.03, 3.03, 3.00
Tasks:  95 total,   4 running,  91 sleeping,   0 stopped,   0 zombie
%Cpu(s): 18.1 us, 81.6 sy,  0.0 ni,  0.0 id,  0.0 wa,  0.3 hi,  0.0 si,  0.0 st
MiB Mem :   3737.0 total,   3233.7 free,    132.8 used,    370.5 buff/cache
MiB Swap:   4060.0 total,   4060.0 free,      0.0 used.   3373.1 avail Mem

    PID USER      PR  NI    VIRT    RES    SHR S  %CPU  %MEM     TIME+ COMMAND
  33373 root      20   0   18720   1748   1460 R  49.5   0.0 415:05.87 sha1sum
  33374 root      20   0   18720   1756   1464 R  32.9   0.0 412:58.33 sha1sum
  33377 root      20   0   18720   1860   1568 R  16.3   0.0 411:03.12 sha1sum
    760 root      20   0  416620  28540  15296 S   0.3   0.7   0:10.23 tuned
      1 root      20   0  186328  14108   9484 S   0.0   0.4   0:02.00 systemd
      2 root      20   0       0      0      0 S   0.0   0.0   0:00.01 kthread
...
```

**注記**

わかりやすくするために、すべてのサンプルプロセスを単一の CPU で実行するように強制しました。CPU の重みは、複数の CPU で使用される場合にも同じ原則を適用します。

**PID 33373**、**PID 33374**、および **PID 33377** の CPU リソースは、対応するサブ cgroups に割り当てた重み 150、100、50 に基づいて割り当てられたことが分かります。重みは、各アプリケーションの CPU 時間の約 50%、33%、および 16% の配分に対応します。

**関連情報**

- コントロールグループについて
- Linux カーネルリソースコントローラーとは
- cgroups-v2 ファイルシステムでの cgroup の作成とコントローラーの有効化
- Resource Distribution Models
- **cgroups(7)**、**sysfs(5)** の man ページ

## 24.3. CGROUPS-V1 のマウント

RHEL 9 は、システムの起動プロセス中に、デフォルトで **cgroup-v2** 仮想ファイルシステムをマウントします。**cgroup-v1** 機能を使用してアプリケーションのリソースを制限するには、システムを手動で設定します。

**注記**

**cgroup-v1** と **cgroup-v2** の両方がカーネルで完全に有効になっている。カーネルから見た場合、デフォルトのコントロールグループバージョンはありません。また、システムの起動時にマウントするかどうかは、**systemd** により決定します。

**前提条件**

- root 権限がある。

**手順**

1. **systemd** システムおよびサービスマネージャーによるシステムブート中に、デフォルトで **cgroups-v1** をマウントするようにシステムを設定します。

```
# grubby --update-kernel=/boot/vmlinuz-$(uname -r) --
args="systemd.unified_cgroup_hierarchy=0
systemd.legacy_systemd_cgroup_controller"
```

これにより、必要なカーネルコマンドラインパラメーターが現在のブートエントリーに追加されます。

すべてのカーネルブートエントリーに同じパラメーターを追加するには:

```
# grubby --update-kernel=ALL --args="systemd.unified_cgroup_hierarchy=0
systemd.legacy_systemd_cgroup_controller"
```

2. システムを再起動して、変更を有効にします。

**検証**

1. 必要に応じて、**cgroups-v1** ファイルシステムがマウントされていることを確認します。

```
# mount -l | grep cgroup
tmpfs on /sys/fs/cgroup type tmpfs
(ro,nosuid,nodev,noexec,seclabel,size=4096k,nr_inodes=1024,mode=755,inode64)
cgroup on /sys/fs/cgroup/systemd type cgroup
(rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,xattr,release_agent=/usr/lib/systemd/systemd-
cgroups-agent,name=systemd)
cgroup on /sys/fs/cgroup/perf_event type cgroup
(rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,perf_event)
cgroup on /sys/fs/cgroup/cpu,cpuacct type cgroup
(rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,cpu,cpuacct)
cgroup on /sys/fs/cgroup/pids type cgroup (rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,pids)
cgroup on /sys/fs/cgroup/cpuset type cgroup
(rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,cpuset)
cgroup on /sys/fs/cgroup/net_cls,net_prio type cgroup
(rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,net_cls,net_prio)
cgroup on /sys/fs/cgroup/hugetlb type cgroup
(rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,hugetlb)
cgroup on /sys/fs/cgroup/memory type cgroup
(rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,memory)
cgroup on /sys/fs/cgroup/blkio type cgroup (rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,blkio)
cgroup on /sys/fs/cgroup/devices type cgroup
(rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,devices)
cgroup on /sys/fs/cgroup/misc type cgroup (rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,misc)
cgroup on /sys/fs/cgroup/freezer type cgroup
(rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,freezer)
cgroup on /sys/fs/cgroup/rdma type cgroup (rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,seclabel,rdma)
```

さまざまな **cgroup-v1** コントローラーに対応する **cgroups-v1** ファイルシステムが、**/sys/fs/cgroup/** ディレクトリーに正常にマウントされました。

2. 必要に応じて、**/sys/fs/cgroup/** ディレクトリーの内容を確認します。

```
# ll /sys/fs/cgroup/
dr-xr-xr-x. 10 root root  0 Mar 16 09:34 blkio
lrwxrwxrwx.  1 root root 11 Mar 16 09:34 cpu → cpu,cpuacct
lrwxrwxrwx.  1 root root 11 Mar 16 09:34 cpuacct → cpu,cpuacct
dr-xr-xr-x. 10 root root  0 Mar 16 09:34 cpu,cpuacct
dr-xr-xr-x.  2 root root  0 Mar 16 09:34 cpuset
dr-xr-xr-x. 10 root root  0 Mar 16 09:34 devices
dr-xr-xr-x.  2 root root  0 Mar 16 09:34 freezer
dr-xr-xr-x.  2 root root  0 Mar 16 09:34 hugetlb
dr-xr-xr-x. 10 root root  0 Mar 16 09:34 memory
dr-xr-xr-x.  2 root root  0 Mar 16 09:34 misc
lrwxrwxrwx.  1 root root 16 Mar 16 09:34 net_cls → net_cls,net_prio
dr-xr-xr-x.  2 root root  0 Mar 16 09:34 net_cls,net_prio
lrwxrwxrwx.  1 root root 16 Mar 16 09:34 net_prio → net_cls,net_prio
dr-xr-xr-x.  2 root root  0 Mar 16 09:34 perf_event
dr-xr-xr-x. 10 root root  0 Mar 16 09:34 pids
dr-xr-xr-x.  2 root root  0 Mar 16 09:34 rdma
dr-xr-xr-x. 11 root root  0 Mar 16 09:34 systemd
```

- **/sys/fs/cgroup/** ディレクトリーは、デフォルトでは **root control group** とも呼ばれ、**cpuset** などのコントローラー固有のディレクトリーが含まれています。さらに、**systemd** に関連するディレクトリーがいくつかあります。

**関連情報**

- コントロールグループについて
- Linux カーネルリソースコントローラーとは
- **cgroups(7)**、**sysfs(5)** の man ページ
- RHEL 9 では、デフォルトで有効になっている cgroup-v2

## 24.4. CGROUPS-V1 を使用したアプリケーションへの CPU 制限の設定

**コントロールグループバージョン 1** (**cgroups-v1**) を使用してアプリケーションに対する CPU 制限を設定するには、**/sys/fs/** 仮想ファイルシステムを使用します。

**前提条件**

- root 権限がある。
- CPU 消費を制限するアプリケーションがある。
- **systemd** システムおよびサービスマネージャーによるシステムの起動時に、デフォルトで **cgroups-v1** をマウントするようにシステムを設定している。

```
# grubby --update-kernel=/boot/vmlinuz-$(uname -r) --
args="systemd.unified_cgroup_hierarchy=0
systemd.legacy_systemd_cgroup_controller"
```

これにより、必要なカーネルコマンドラインパラメーターが現在のブートエントリーに追加されます。

**手順**

1. CPU 消費を制限するアプリケーションのプロセス ID (PID) を特定します。

```
# top
top - 11:34:09 up 11 min,  1 user,  load average: 0.51, 0.27, 0.22
Tasks: 267 total,   3 running, 264 sleeping,   0 stopped,   0 zombie
%Cpu(s): 49.0 us,  3.3 sy,  0.0 ni, 47.5 id,  0.0 wa,  0.2 hi,  0.0 si,  0.0 st
MiB Mem :   1826.8 total,    303.4 free,   1046.8 used,    476.5 buff/cache
MiB Swap:   1536.0 total,   1396.0 free,    140.0 used.    616.4 avail Mem

  PID USER      PR  NI    VIRT    RES    SHR S  %CPU  %MEM     TIME+ COMMAND
 6955 root      20   0  228440   1752   1472 R  99.3   0.1   0:32.71 sha1sum
 5760 jdoe      20   0 3603868 205188  64196 S   3.7  11.0   0:17.19 gnome-shell
 6448 jdoe      20   0  743648  30640  19488 S   0.7   1.6   0:02.73 gnome-terminal-
    1 root      20   0  245300   6568   4116 S   0.3   0.4   0:01.87 systemd
  505 root      20   0       0      0      0 I   0.3   0.0   0:00.75 kworker/u4:4-events_unbound
...
```

この **top** プログラムの出力例は、説明用のアプリケーション **sha1sum** (**PID 6955**) が CPU リソースを大量に消費することを示しています。

2. **cpu** リソースコントローラーディレクトリーにサブディレクトリーを作成します。

```
# mkdir /sys/fs/cgroup/cpu/Example/
```

このディレクトリーはコントロールグループを表します。ここに特定のプロセスを配置して、そのプロセスに特定の CPU 制限を適用できます。同時に、いくつかの **cgroups-v1** インターフェイスファイルと **cpu** コントローラー固有のファイルがディレクトリーに作成されます。

3. **オプション**: 新しく作成されたコントロールグループを確認します。

```
# ll /sys/fs/cgroup/cpu/Example/
-rw-r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cgroup.clone_children
-rw-r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cgroup.procs
-r—r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpuacct.stat
-rw-r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpuacct.usage
-r—r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpuacct.usage_all
-r—r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpuacct.usage_percpu
-r—r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpuacct.usage_percpu_sys
-r—r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpuacct.usage_percpu_user
-r—r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpuacct.usage_sys
-r—r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpuacct.usage_user
-rw-r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpu.cfs_period_us
-rw-r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpu.cfs_quota_us
-rw-r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpu.rt_period_us
-rw-r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpu.rt_runtime_us
-rw-r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpu.shares
-r—r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 cpu.stat
-rw-r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 notify_on_release
-rw-r—r--. 1 root root 0 Mar 11 11:42 tasks
```

この出力例は、特定の設定や制限を表す **cpuacct.usage**、**cpu.cfs._period_us** などのファイルを示しています。これは、**Example** コントロールグループのプロセスに設定できます。各ファイル名の前に、そのファイルが属するコントロールグループコントローラーの名前が接頭辞として追加されることに注意してください。

デフォルトでは、新しく作成されたコントロールグループは、システムの CPU リソース全体へのアクセスを制限なしで継承します。

4. コントロールグループの CPU 制限を設定します。

```
# echo "1000000" > /sys/fs/cgroup/cpu/Example/cpu.cfs_period_us
# echo "200000" > /sys/fs/cgroup/cpu/Example/cpu.cfs_quota_us
```

- **cpu.cfs_period_us** ファイルは、コントロールグループの CPU リソースへのアクセスを再割り当てする頻度をマイクロ秒 (µs、ここでは "us" で表します) 単位で表します。上限は 1,000,000 マイクロ秒で、下限は 1,000 マイクロ秒です。

- **cpu.cfs_quota_us** ファイルは、(**cpu.cfs_period_us** で定義されるように) コントロールグループのすべてのプロセスを 1 期間中に実行できる合計時間をマイクロ秒単位で表します。1 期間中にコントロールグループ内のプロセスがクォータで指定された時間をすべて使いきると、残りの時間はスロットルされて、次の期間まで実行できなくなります。下限は 1000 マイクロ秒です。

上記のコマンド例は、CPU 時間制限を設定して、**Example** コントロールグループでまとめられているすべてのプロセスは、1秒ごと (**cpu.cfs_period_us** に定義されている) に、0.2秒間だけ (**cpu.cfs_quota_us** に定義されている) 実行できるようにしています。

5. **オプション**: この制限を確認します。

```
# cat /sys/fs/cgroup/cpu/Example/cpu.cfs_period_us
/sys/fs/cgroup/cpu/Example/cpu.cfs_quota_us
1000000
200000
```

6. アプリケーションの PID を **Example** コントロールグループに追加します。

```
# echo "6955" > /sys/fs/cgroup/cpu/Example/cgroup.procs
```

このコマンドによって、特定のアプリケーションが **Example** コントロールグループのメンバーとなり、**Example** コントロールグループに設定された CPU 制限を超えないようになります。PID は、システム内の既存のプロセスを表します。この **PID 6955** は、プロセス **sha1sum /dev/zero &** に割り当てられており、**cpu** コントローラーの使用例を示すために使用されています。

**検証**

1. アプリケーションが指定のコントロールグループで実行されていることを確認します。

```
# cat /proc/6955/cgroup
12:cpuset:/
11:hugetlb:/
10:net_cls,net_prio:/
9:memory:/user.slice/user-1000.slice/user@1000.service
8:devices:/user.slice
7:blkio:/
6:freezer:/
5:rdma:/
4:pids:/user.slice/user-1000.slice/user@1000.service
3:perf_event:/
2:cpu,cpuacct:/Example
1:name=systemd:/user.slice/user-1000.slice/user@1000.service/gnome-terminal-server.service
```

この出力例は、目的のアプリケーションのプロセスが **Example** コントロールグループで実行され、アプリケーションのプロセスに CPU 制限が適用されることを示しています。

2. スロットルしたアプリケーションの現在の CPU 使用率を特定します。

```
# top
top - 12:28:42 up  1:06,  1 user,  load average: 1.02, 1.02, 1.00
Tasks: 266 total,   6 running, 260 sleeping,   0 stopped,   0 zombie
%Cpu(s): 11.0 us,  1.2 sy,  0.0 ni, 87.5 id,  0.0 wa,  0.2 hi,  0.0 si,  0.2 st
MiB Mem :   1826.8 total,    287.1 free,   1054.4 used,    485.3 buff/cache
MiB Swap:   1536.0 total,   1396.7 free,    139.2 used.    608.3 avail Mem

  PID USER      PR  NI    VIRT    RES    SHR S  %CPU  %MEM     TIME+ COMMAND
 6955 root      20   0  228440   1752   1472 R  20.6   0.1  47:11.43 sha1sum
 5760 jdoe      20   0 3604956 208832  65316 R   2.3  11.2   0:43.50 gnome-shell
```

```
 6448 jdoe      20   0  743836  31736  19488 S   0.7   1.7   0:08.25 gnome-terminal-
  505 root      20   0       0      0      0 I   0.3   0.0   0:03.39 kworker/u4:4-events_unbound
 4217 root      20   0   74192   1612   1320 S   0.3   0.1   0:01.19 spice-vdagentd
...
```

**PID 6955** の CPU 消費が 99% から 20% に減少していることに注意してください。

**注記**

**cpu.cfs_period_us** および **cpu.cfs_quota_us** に対応する **cgroups-v2** は、**cpu.max** ファイルです。**cpu.max** ファイルは、**cpu** コントローラーから入手できます。

**関連情報**

- コントロールグループについて
- Linux カーネルリソースコントローラーとは
- **cgroups(7)**、**sysfs(5)** の man ページ

# 第25章 BPF コンパイラーコレクションでシステムパフォーマンスの分析

システム管理者として BPF コンパイラーコレクション (BCC) ライブラリーで Linux オペレーティングシステムのパフォーマンスを分析するツールを作成します。ただし、他のインターフェイス経由での取得は困難な場合があります。

## 25.1. BCC-TOOLS パッケージのインストール

**bcc-tools** パッケージをインストールします。これにより、依存関係として BPF Compiler Collection (BCC) ライブラリーもインストールされます。

**手順**

1. **bcc-tools** をインストールします。

```
# dnf install bcc-tools
```

   BCC ツールは、**/usr/share/bcc/tools/** ディレクトリーにインストールされます。

2. 必要に応じて、ツールを検証します。

```
# ll /usr/share/bcc/tools/
...
-rwxr-xr-x. 1 root root  4198 Dec 14 17:53 dcsnoop
-rwxr-xr-x. 1 root root  3931 Dec 14 17:53 dcstat
-rwxr-xr-x. 1 root root 20040 Dec 14 17:53 deadlock_detector
-rw-r--r--. 1 root root  7105 Dec 14 17:53 deadlock_detector.c
drwxr-xr-x. 3 root root  8192 Mar 11 10:28 doc
-rwxr-xr-x. 1 root root  7588 Dec 14 17:53 execsnoop
-rwxr-xr-x. 1 root root  6373 Dec 14 17:53 ext4dist
-rwxr-xr-x. 1 root root 10401 Dec 14 17:53 ext4slower
...
```

   上記のリストにある **doc** ディレクトリーには、各ツールのドキュメントが含まれます。

## 25.2. BCC-TOOLS でパフォーマンスの分析

BPF Compiler Collection (BCC) ライブラリーから事前に作成された特定のプログラムを使用して、システムパフォーマンスをイベントごとに効率的かつセキュアに分析します。BCC ライブラリーで事前作成されたプログラムセットは、追加プログラム作成の例として使用できます。

**前提条件**

- bcc-tools パッケージがインストールされている
- root 権限がある。

### execsnoop を使用したシステムプロセスの検証

1. 1 つの端末で **execsnoop** プログラムを実行します。

```
# /usr/share/bcc/tools/execsnoop
```

2. たとえば、別のターミナルで次のように実行します。

```
$ ls /usr/share/bcc/tools/doc/
```

これにより、**ls** コマンドの短命プロセスが作成されます。

3. **execsnoop** を実行している端末は、以下のような出力を表示します。

```
PCOMM PID    PPID   RET ARGS
ls    8382   8287     0 /usr/bin/ls --color=auto /usr/share/bcc/tools/doc/
...
```

**execsnoop** プログラムは、新しいプロセスごとに出力行を出力するため、システムリソースを消費します。また、**ls** などの非常に短期間に実行されるプログラムのプロセスを検出します。なお、ほとんどの監視ツールはそれらを登録しません。

**execsnoop** 出力には以下のフィールドが表示されます。

PCOMM
: 親プロセス名。(**ls**)

PID
: プロセス ID。(**8382**)

PPID
: 親プロセス ID。(**8287**)

RET
: **exec()** システムコールの戻り値 (**0**)。プログラムコードを新規プロセスに読み込みます。

ARGS
: 引数を使用して起動したプログラムの場所。

**execsnoop** の詳細、例、およびオプションを確認するには、**/usr/share/bcc/tools/doc/execsnoop_example.txt** ファイルを参照してください。

**exec()** の詳細は、**exec(3)** man ページを参照してください。

### opensnoop を使用した、コマンドにより開かれるファイルの追跡

1. 1 つのターミナルで **opensnoop** プログラムを実行します。

```
# /usr/share/bcc/tools/opensnoop -n uname
```

上記の出力では、**uname** コマンドのプロセスによってのみ開かれるファイルの内容が出力されます。

2. 別のターミナルで、次のように実行します。

```
$ uname
```

上記のコマンドは、特定のファイルを開きます。このファイルは次のステップでキャプチャーされます。

3. **opensnoop** を実行している端末は、以下のような出力を表示します。

```
PID    COMM  FD ERR PATH
8596   uname  3  0   /etc/ld.so.cache
8596   uname  3  0   /lib64/libc.so.6
8596   uname  3  0   /usr/lib/locale/locale-archive
...
```

**opensnoop** プログラムは、システム全体で **open()** システム呼び出しを監視し、**uname** が開こうとしたファイルごとに出力行を出力します。

**opensnoop** 出力には、以下のフィールドが表示されます。

PID
: プロセス ID。(**8596**)

COMM
: プロセス名。(**uname**)

FD
: ファイルの記述子。開いたファイルを参照するために **open()** が返す値です。(**3**)

ERR
: すべてのエラー。

PATH
: **open()** で開こうとしたファイルの場所。

コマンドが、存在しないファイルを読み込もうとすると、**FD** コラムは **-1** を返し、**ERR** コラムは関連するエラーに対応する値を出力します。その結果、**opennoop** は、適切に動作しないアプリケーションの特定に役立ちます。

**opensnoop** の詳細、例、およびオプションを確認するには、**/usr/share/bcc/tools/doc/opensnoop_example.txt** ファイルを参照してください。

**open()** の詳細は、**open(2)** man ページを参照してください。

### ディスク上の I/O 操作を調べるための biotop の使用

1. 1 つのターミナルで **biotop** プログラムを実行します。

```
# /usr/share/bcc/tools/biotop 30
```

このコマンドにより、ディスク上で I/O 操作を実行する上位のプロセスを監視できます。この引数は、コマンドが 30 秒の概要を生成するようにします。

**注記**

引数を指定しないと、デフォルトでは 1 秒ごとに出力画面が更新されます。

2. 別の端末で、たとえば次のように実行します。

```
# dd if=/dev/vda of=/dev/zero
```

上記のコマンドは、ローカルのハードディスクデバイスからコンテンツを読み込み、出力を **/dev/zero** ファイルに書き込みます。この手順では、**biotop** を示す特定の I/O トラフィックを生成します。

3. **biotop** を実行している端末は、以下のような出力を表示します。

```
PID    COMM             D MAJ MIN DISK       I/O  Kbytes     AVGms
9568   dd               R 252 0   vda      16294 14440636.0  3.69
48     kswapd0          W 252 0   vda       1763 120696.0    1.65
7571   gnome-shell      R 252 0   vda        834 83612.0     0.33
1891   gnome-shell      R 252 0   vda       1379 19792.0     0.15
7515   Xorg             R 252 0   vda        280  9940.0     0.28
7579   llvmpipe-1       R 252 0   vda        228  6928.0     0.19
9515   gnome-control-c  R 252 0   vda         62  6444.0     0.43
8112   gnome-terminal-  R 252 0   vda         67  2572.0     1.54
7807   gnome-software   R 252 0   vda         31  2336.0     0.73
9578   awk              R 252 0   vda         17  2228.0     0.66
7578   llvmpipe-0       R 252 0   vda        156  2204.0     0.07
9581   pgrep            R 252 0   vda         58  1748.0     0.42
7531   InputThread      R 252 0   vda         30  1200.0     0.48
7504   gdbus            R 252 0   vda          3  1164.0     0.30
1983   llvmpipe-1       R 252 0   vda         39   724.0     0.08
1982   llvmpipe-0       R 252 0   vda         36   652.0     0.06
...
```

**biotop** 出力には、以下のフィールドが表示されます。

PID
: プロセス ID。(**9568**)

COMM
: プロセス名。(**dd**)

DISK
: 読み取り操作を実行するディスク。(**vda**)

I/O
: 実行された読み取り操作の数。(16294)

Kbytes
: 読み取り操作によって使用したバイト数 (KB)。(14,440,636)

AVGms
: 読み取り操作の平均 I/O 時間。(3.69)

**biotop** の詳細、例、およびオプションを確認するには、**/usr/share/bcc/tools/doc/biotop_example.txt** ファイルを参照してください。

**dd** の詳細は、**dd(1)** man ページを参照してください。

### xfsslower を使用した、予想外に遅いファイルシステム動作の明確化

1. 1 つのターミナルで **xfsslower** プログラムを実行します。

```
# /usr/share/bcc/tools/xfsslower 1
```

上記のコマンドは、XFS ファイルシステムが、読み込み、書き込み、開く、または同期 (**fsync**) 操作を実行するのに費やした時間を測定します。**1** 引数を指定すると、1 ms よりも遅い操作のみが表示されます。

**注記**

引数を指定しないと、**xfsslower** はデフォルトで 10 ms よりも低速な操作を表示します。

2. 別のターミナルで、たとえば次のように入力します。

```
$ vim text
```

上記のコマンドは、**vim** エディターでテキストファイルを作成し、XFS ファイルシステムと特定の対話を開始します。

3. **xfsslower** を実行している端末は、前の手順でファイルを保存した場合と同様の内容を示しています。

```
TIME     COMM          PID    T BYTES   OFF_KB   LAT(ms) FILENAME
13:07:14 b'bash'       4754   R 256     0          7.11 b'vim'
13:07:14 b'vim'        4754   R 832     0          4.03 b'libgpm.so.2.1.0'
13:07:14 b'vim'        4754   R 32      20         1.04 b'libgpm.so.2.1.0'
13:07:14 b'vim'        4754   R 1982    0          2.30 b'vimrc'
13:07:14 b'vim'        4754   R 1393    0          2.52 b'getscriptPlugin.vim'
13:07:45 b'vim'        4754   S 0       0          6.71 b'text'
13:07:45 b'pool'       2588   R 16      0          5.58 b'text'
...
```

上記の各行はファイルシステム内の操作を表し、特定のしきい値よりも時間がかかります。**xfsslower** は、ファイルシステムの問題の明確化に適しており、動作が予期せずに低速になります。

**xfsslower** 出力には、以下のフィールドが表示されます。

COMM
: プロセス名。(**b'bash'**)

T
: 操作の種類。(**R**)

- **R**ead
- **W**rite
- **S**ync

OFF_KB
: ファイルオフセット (KB)。(0)

FILENAME
: 読み取り、書き込み、または同期中のファイル。

**xfsslower** の詳細、例、およびオプションについては、**/usr/share/bcc/tools/doc/xfsslower_example.txt** ファイルを参照してください。

**fsync** の詳細は、man ページの **fsync(2)** を参照してください。