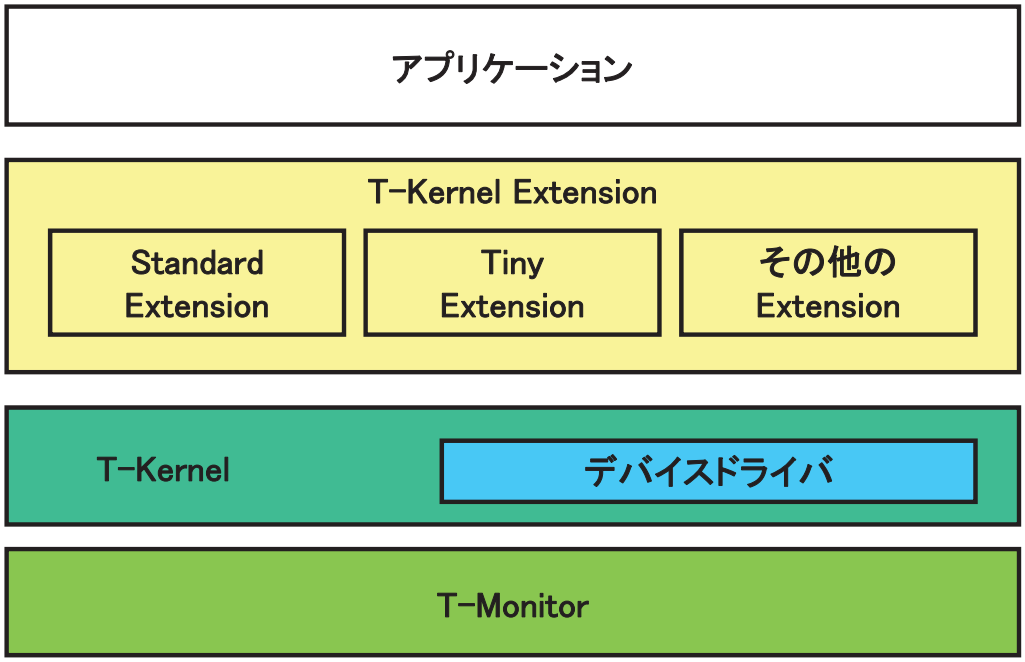
【土曜講座】
組込みリアルタイム OS 入門
(μT-Kernel 入門:協力ルネサスエレクトロニクス)

μT-Kernel 入門

T-Engine/T-Kernelの概要

T-Engineのソフトウェア構成（その1）



T-Engineのソフトウェア構成（その2）

■T-Monitor

ハードウェアの初期化やシステムの起動、例外・割込みのハンドリング、基本的なデバッグ機能を提供。（PC等のBIOSに相当する）

■T-Kernel

μITRONの技術を継承したシステムの中心となるリアルタイムOS。

■デバイスドライバ

標準化されたインタフェースによりハードウェアの制御を行うプログラム。

■T-Kernel Extension

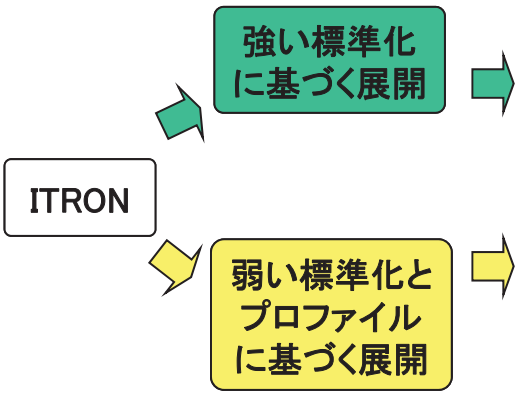
T-Kernelの機能を拡張し、より高度なOSの機能を実現するプログラム。

ファイルシステムやネットワークプロトコル等の機能を提供する。

標準仕様のT-Kernel Standard Extension、
比較的小規模な組み込み機器向けのT-Kernel Tiny Extension等が存在する。

T-Kernelの概要

ITRONの成果を生かしつつ、標準化の範囲を拡大し、高度な技術を取り入れることで、短期間で高度な組み込みシステムを作るためのソリューションの整備。



T-Engineプロジェクト

ユビキタスコンピューティング環境構築を目指して、オープンなリアルタイム標準開発環境を整備するプロジェクト。ハードウェア、OS、ミドルウェア、開発環境について、強い標準化が進められている。

T-Kernel仕様

ITRON4.0仕様 → ITRON4.0/PX仕様

・同一プロファイル規定のOS間で互換性を保証
（スタンダードプロファイル、自動車プロファイル）
・保護機能拡張（ITRON4.0/PX仕様）によるMMUサポート（メモリ保護を主目的としている）

ITRONの成果をベースとして、互換性や厳密性の向上を図り、生産性向上や再利用性、移植性を高めることを目的に仕様を整理。

T-Kernelの特徴

■リアルタイム、マルチタスク、コンパクト
この点はITRONもT-Kernelも同じ。
各システムコールはITRON仕様と同等。
→ ITRONに慣れた技術者なら、直ぐにプログラミング可能!!

■ミドルウエア流通に向けた機能をサポート
オブジェクトIDの自動割り当て（動的なシステムの資源管理）
MMU対応（論理空間、メモリ保護）
デバイス管理等のAPIも標準化

※流通実現のため、他にも様々な取組みがなされている

■トロンフォーラムから無償ソース公開
オープンソースである（http://www.tron.org/ja/）
無償で最終製品に組込んで良い

T-Kernelの構成

■T-Kernel/OS（Operating System） ⇒ μT-Kernelはこの部分を実装
ITRONの機能に相当
- タスク管理・付属同期機能、同期・通信機能、メモリ管理機能、
- 例外/割込み制御機能、時間管理機能、サブシステム管理機能

■T-Kernel/SM （System Manager）
- システムメモリ管理機能、アドレス空間管理機能、デバイス管理機能
- 割込管理機能、I/Oポートアクセスサポート機能、省電力機能
- システム構成管理機能

■T-Kernel/DS （Debugger Support）
- カーネル内部状態参照機能、実行トレース機能

T-Kernelのオブジェクト

特徴：カーネルオブジェクトは全てIDが動的に自動割当てされる（μITRON仕様との相違点）
メモリプール等のメモリ領域も全てカーネルによる自動割当てとなる

T-Kernelのカーネルオブジェクト一覧

分類	カーネルオブジェクト
タスク関連	タスク
同期・通信関連	セマフォ イベントフラグ メールボックス
拡張同期・通信関連	ミューテックス メッセージバッファ ランデブポート
メモリプール管理関連	固定長メモリプール 可変長メモリプール
時間管理関連	周期ハンドラ アラームハンドラ

T-Kernel/OSの特徴

■T-Kernel/OSとITRONの相違

●T-Kernel/OSはμITRON4.0仕様(3.0仕様)とほぼ同等の機能を有している。

ー ただし、システムコールレベルの細部仕様は異なる

ー 互換性を保証している訳ではない

例:T-Kernel/OSの持つシステムコールは先頭に「tk_」が付いた名称となる

・μITRON4.0仕様のsta_tskサービスコール

```
ER ercd = sta_tsk( ID tskid, VP_INT stacd );
```

・T-Kernel/OSのsta_tskシステムコール

```
ER ercd = tk_sta_tsk( ID tskid, INT stacd );
```

●T-Kernel/OSにないμITRON4.0仕様の機能

ー データキュー、オーバランハンドラ

T-Kernel/OSのデータ型

■システムコールで使用するデータ型

●T-Kernel/OSはμITRON仕様と同じく専用のデータ型を使用する。

ー 内容的にはμITRON仕様とほぼ同等

ー ヘッダファイル「<tk/tkernel.h>」をインクルードすることで使用可能

例:

```
typedef char    B;      /* Signed  8 bit integer */
typedef short   H;      /* Signed 16 bit integer */
typedef int     W;      /* Signed 32 bit integer */

#define LOCAL   static  /* Local  symbol definition */
#define EXPORT          /* Global symbol definition */
#define IMPORT  extern  /* Global symbol reference  */
```

●その他に各CPU毎の共通基本データ型、T-Monitor用のヘッダファイルがある

ー 各CPU毎の共通基本データ型のヘッダファイル → 「<basic.h>」

ー T-Monitor用のヘッダファイル → 「<tk/tmonitor.h>」

オブジェクトIDは全て自動割り付け

■T-Kernel/OSではオブジェクトは全てカーネルによる自動割り付け

● μITRON4.0仕様における「 cre_*** 」のサービスコールは廃止。

●T-Kernel/OSでは「 tk_cre_*** 」がμITRON4.0仕様の「 acre_*** 」に相当する。
ー tk_cre_tsk、tk_cre_sem、tk_cre_flg、tk_cre_mbx、tk_cre_mtx、tk_cre_mbf
tk_cre_por、tk_cre_mpf、tk_cre_mpl、tk_cre_cyc、tk_cre_alm、tk_cre_res

●T-Kernel/OSでは静的APIはサポートしない。

例:T-Kernel/OSではタスクの生成をtk_cre_taskシステムコールで行う

・ μITRON4.0仕様のcre_tsk、acre_taskサービスコール

```
ER ercd = cre_tsk( ID tskid, T_CTSK *pk_ctsk );
ER_ID tskid = acre_tsk( T_CTSK *pk_ctsk );
```

・T-Kernel/OSのtk_cre_taskシステムコール

```
ID tskid = tk_cre_tsk( T_CTSK *pk_ctsk );
```


タイムアウト、ポーリングはWAITに集約

■T-Kernel/OSでは待ちを伴うシステムコールは一本化

● μITRON4.0仕様における「 t***_*** 」のタイムアウト機能のサービスコールは廃止。

● μITRON4.0仕様における「 p***_*** 」のポーリング機能のサービスコールも廃止。

●T-Kernel/OSでは待ちを伴うシステムコールが上記の機能を兼ねる。
ー tk_slp_tsk、tk_wai_tev、tk_wai_sem、tk_wai_flg、tk_rcv_mbx、tk_loc_mtx
tk_snd_mbf、tk_rcv_mbf、tk_act_por、tk_get_mpf、tk_get_mpl

●タイムアウト指定のTMO_FEVR(永久待ち)やTMO_POL(ポーリング)で待ち方を指定。

例:T-Kernel/OSではメールボックスからの受信は全てtk_rcv_mbxシステムコールで行う

・ μITRON4.0仕様のrcv_mbxサービスコール

```
ER recd =  rcv_mbx( ID mbxid, T_MSG **ppk_msg );
ER recd = trcv_mbx( ID mbxid, T_MSG **ppk_msg, TMO tmout );
ER recd = prcv_mbx( ID mbxid, T_MSG **ppk_msg );
```

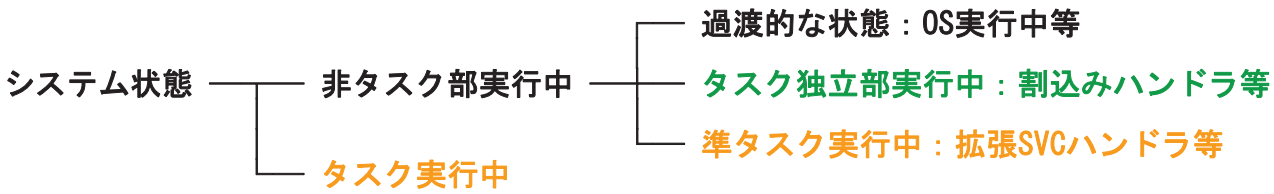
・T-Kernel/OSのtk_rcv_mbxシステムコール

```
ER recd = tk_rcv_mbx( ID mbxid, T_MSG **ppk_msg, TMO tmout );
```

システム状態

■T-Kernel/OSにおけるシステム状態

●T-Kernel/OSにおけるシステム状態はμITRON3.0仕様と同等。



ー タスク独立部実行中は遅延ディスパッチ
　待ち状態に入るシステムコールは発行できない(コンテキストエラー:E_CTX)

ー 準タスク実行中、タスク実行中はタスクの優先度に基づきスケジューリング

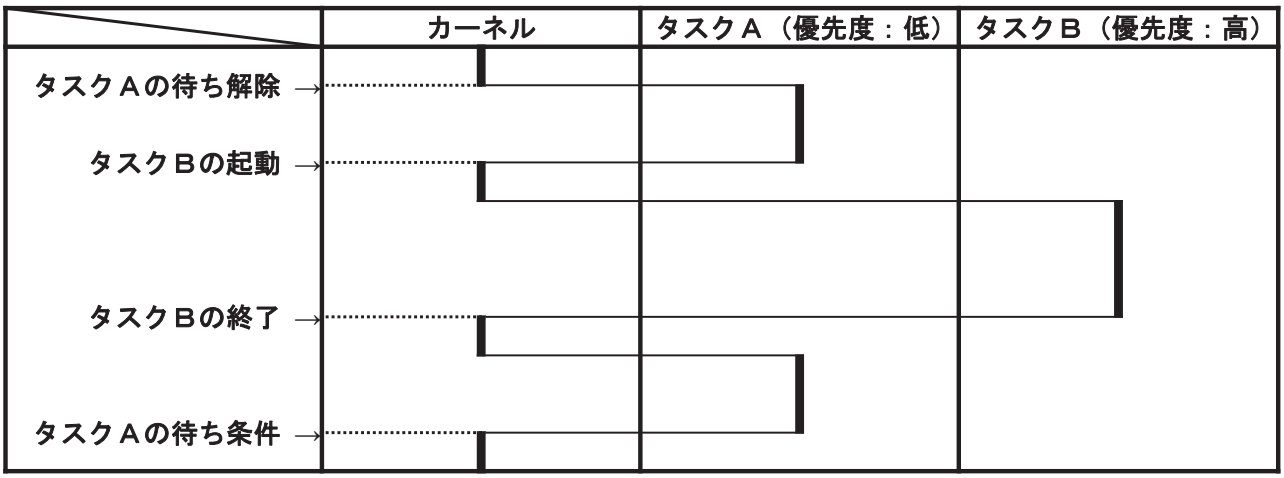
T-Kernel/OSの機能

■タスク管理機能
■タスク付属同期機能
■タスク例外処理機能
■同期・通信機能
　ー セマフォ、イベントフラグ、メールボックス
■拡張同期・通信機能
　ー メッセージバッファ、ミューテックス、ランデブポート
■メモリプール機能
　ー 固定長メモリプール、可変長メモリプール
■時間管理機能
■割込み管理機能
■システム状態管理機能
■サブシステム管理機能

タスクのスケジューリング規則
タスク管理とタスク付属同期

タスクのスケジューリング規則

- T-Kernel仕様におけるタスクのスケジューリング規則はμITRON仕様と同じ。
- 基本は優先度方式、同一優先度はFCFS（First Come First Served）方式。
  優先度の高いタスクが先に実行されるのが特徴である。



タスクのスケジューリングを理解するためには
タスクの状態を先に理解する必要がある

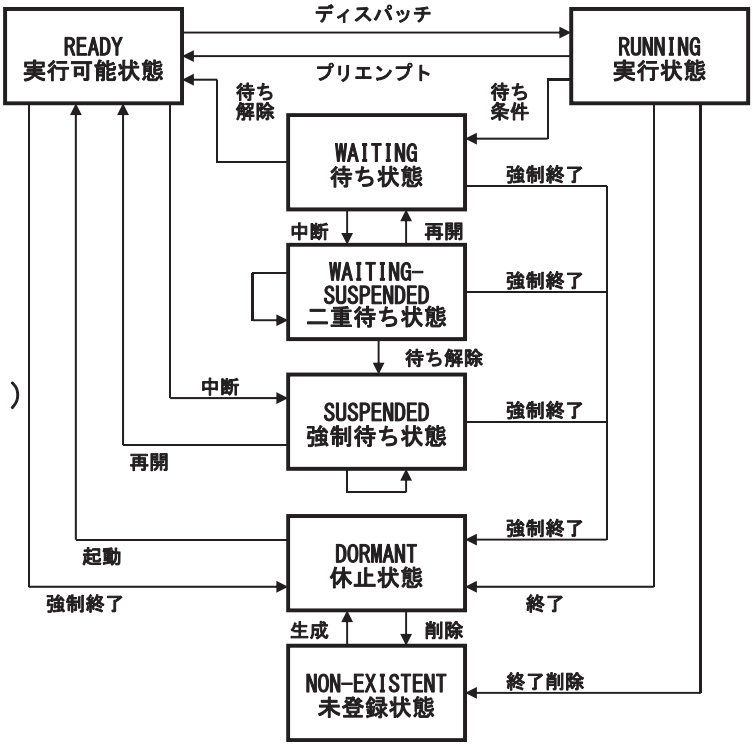
タスクの状態（その1）

■T-Kernel仕様におけるタスクの状態

●T-Kernel仕様におけるタスクの
状態はμITRON4.0仕様と同じ。

- 実行状態（ RUNNING ）
- 実行可能状態（ READY ）
- 広義の待ち状態
  - 待ち状態（ WAITING ）
  - 強制待ち状態（ SUSPENDED ）
  - 二重待ち状態（ WAITING-SUSPENDED ）
- 休止状態（ DORMANT ）
- 未登録状態（ NON-EXISTENT ）

全ての状態を覚える必要はない
先にタスクの基本状態を覚えよう！

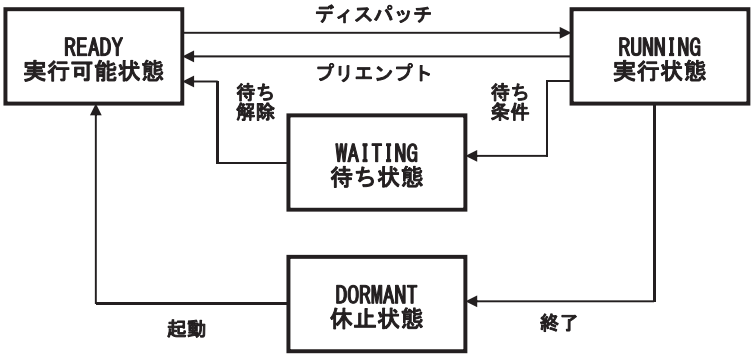


タスクの状態（その2）

■ タスクの基本状態

● 実行状態 （ RUNNING ）
- 与えられた処理を実行している状態

● 実行可能状態 （ READY ）
- 実行する準備は整っているものの、自身のタスクより優先度の高いタスクがRUNNING状態となっているため、実行されないでいる状態

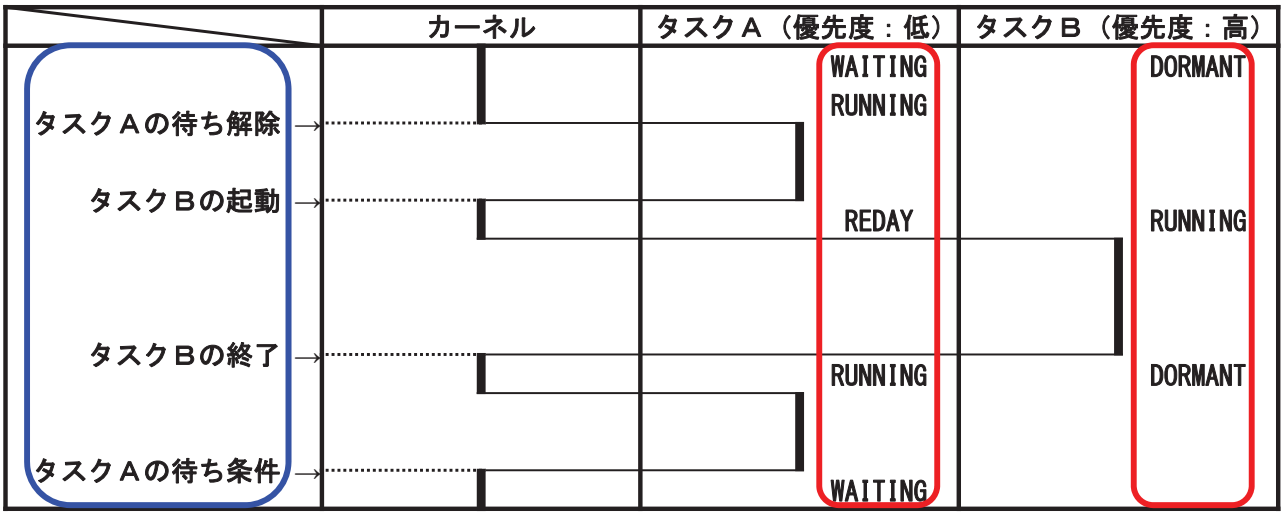


● 待ち状態 （ WAITING ）
- 自身の動作すべき要因が発生するのを待っている状態
- 途中で中断している状態

● 休止状態 （ DORMANT ）
- 自身が起動されるのを待っている状態
- 処理が終了している状態

この４つの状態を覚えれば
殆どのシステムは作成できる！！

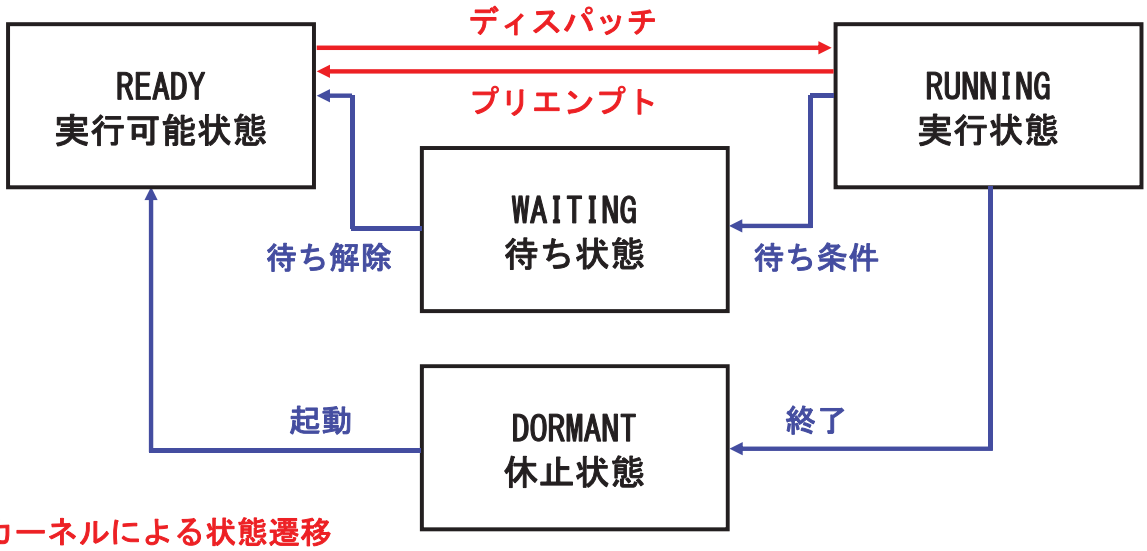
スケジューリングとの対応



タスクの状態を変化させるのが
システムコール（サービスコール）である
T-Kernel仕様　μITRON4.0仕様

タスクは４つの状態を遷移しながら動作する

状態遷移の要因

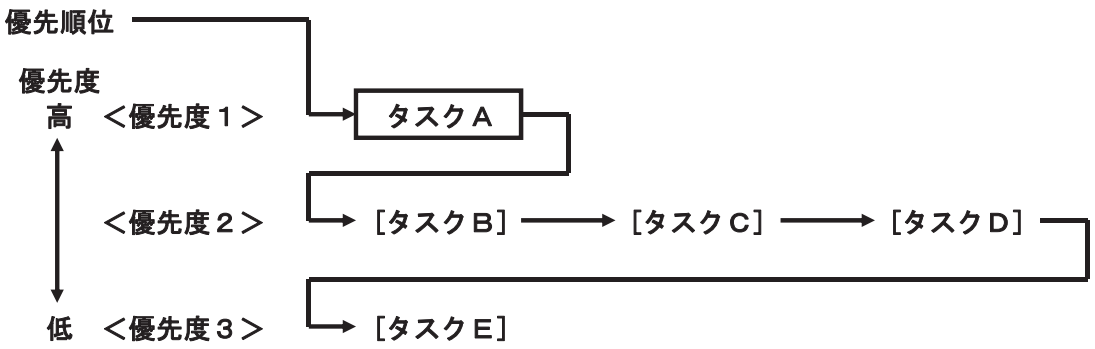


■ カーネルによる状態遷移
- READY状態とRUNNING状態の間の状態遷移
- ディスパッチとプリエンプトはタスクのスケジューリング規則に従いカーネルが実施

■ プログラマの意思による状態遷移
- WAITING状態やDORAMNT状態からREADY状態への遷移
- RUNNING状態からWAITING状態やDORAMNT状態への遷移
- システムコールの発行により、プログラマが制御

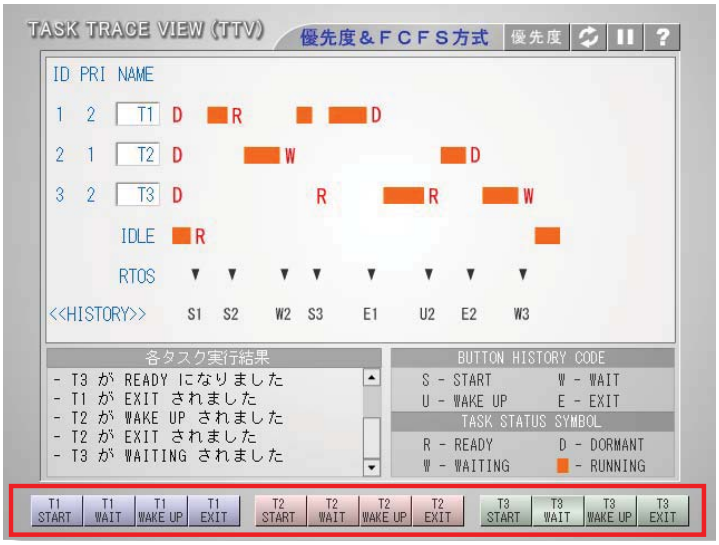
レディキュー

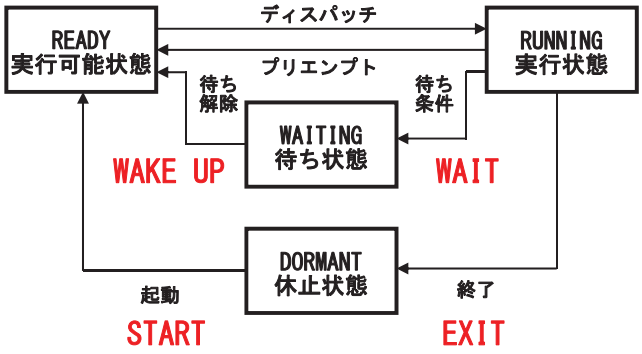
- カーネルがREADY状態の中からRUNNING状態とするタスクを検索するためのキュー。
- WAITING状態やDORMANT状態からREADY状態になるとレディキューに登録される。
  RUNNING状態からWAITING状態やDORMANT状態になるとレディキューから外される。
- 優先度が一番高く、その中で最も先にREADY状態となったタスクがRUNNING状態となる。
  これが優先度方式とFCFS方式の混在型であるタスクのスケジューリング方式。



TTV（Task Trace View）でタスクのスケジューリング規則を確認しよう！
TTVはタスクのスケジューリングをシミュレーションするツール

TTV(Task Trace View)





これらのボタンをシステムコールと考えて、タスクの状態を変更させる

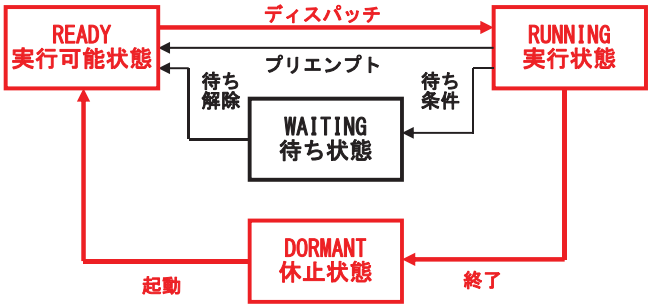
TTV(Task Trace View)

スケジューリング方式は優先度＆FCFS方式を選択

各タスクの優先度は任意に決定して良い。
ただし、値の小さい方が高い優先度となる。

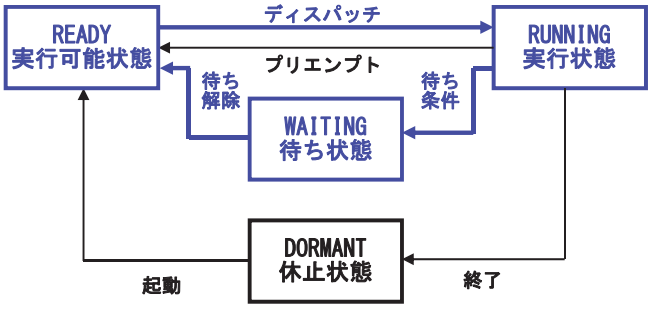
タスクの基本構造

■ タスクは動作する必要がなければレディキューから外れる必要がある。
優先度の高いタスクがRUNNING状態である限り、優先度の低いタスクは動作しない。



● DORMANT状態を利用したタスクの構造

```
void task(INT stacd, VP exinf)
{
  // タスクに与えられた処理
  tk_ext_tsk( );
}
```



● WAITING状態を利用したタスクの構造

```
void task(INT stacd, VP exinf)
{
  while( 1 )  {
    待ちを伴うシステムコール
    // タスクに与えられた処理
    }
}
```


タスクの生成例

```
typedef enum {
  TSK_A, TSK_KIND_NUM
} T_TSK_KIND;
ID gTskid[TSK_KIND_NUM];
          // タスクID番号格納用変数

void create(void)
{
T_CTSK  ctsk = { 0 };
ID      tskid;

  ctsk.exinf   = 0;
  ctsk.tskatr  = TA_HLNG | TA_RNG0;
  ctsk.task    = (FP) tsk_a;
  ctsk.itskpri = 10;
  ctsk.stksz   = 1024;

  tskid = tk_cre_tsk( &ctsk );
  if( tskid > E_OK )
    gTskid[TSK_A] = tskid;
}
```

●生成するタスクの記述例

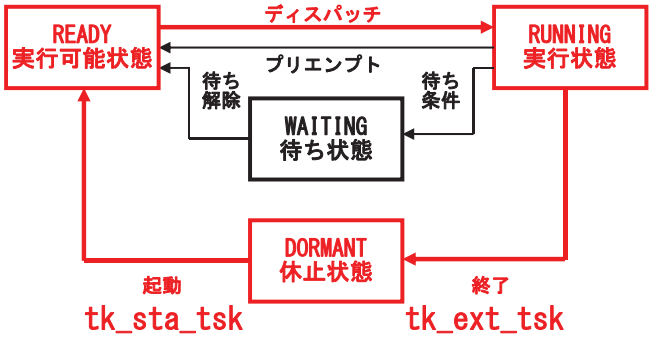
```
void tsk_a(INT stacd, VP exinf)
{
  // タスクに与えられた処理
  tk_ext_tsk( ); // または tk_exd_tsk( );
}
```

```
// タスク生成用のパラメータパケット
// タスクID用の変数

// 拡張情報（タスクの第２引数）の指定は自由
// 高級言語、保護レベル０を指定
// タスクの起動アドレス
// タスクの優先度
// ユーザスタックサイズの指定

// tk_cre_tskシステムコールにより生成
// エラーコードのチェック
// 正常終了なら、ID番号格納用変数に代入
```

タスク管理のシステムコール

タスク生成	ID tskid = tk_cre_tsk(T_CTSK *pk_ctsk);
タスク削除	ER ercd = tk_del_tsk(ID tskid);
タスク起動	ER ercd = tk_sta_tsk(ID tskid, INT stacd);
自タスク終了	void tk_ext_tsk( );
自タスクの終了と削除	void tk_exd_tsk( );
他タスク強制終了	ER ercd = tk_ter_tsk(ID tskid);

■ DORMANT状態を利用したスケジューリングを実現する



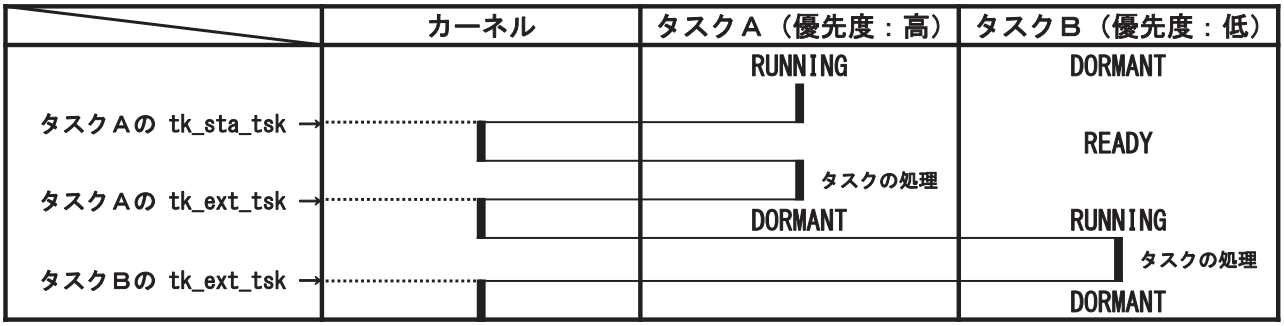

```
void tsk_a(INT stacd, VP exinf)
{
  tk_sta_tsk( gTskid[TSK_B], 0 );
  // タスクに与えられた処理
  tk_ext_tsk( );
}
```

```
void tsk_b(INT stacd, VP exinf)
{
  // タスクに与えられた処理
  tk_ext_tsk( );
}
```

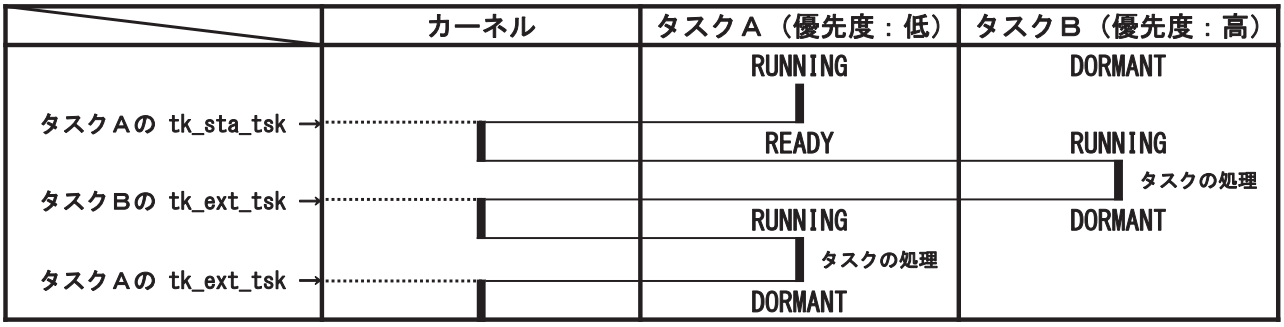
● システムコールのパラメータ
ID tskid → タスクID
INT stacd → 起動コード

タスク管理のスケジューリング

■ 優先度：タスクA＞タスクB



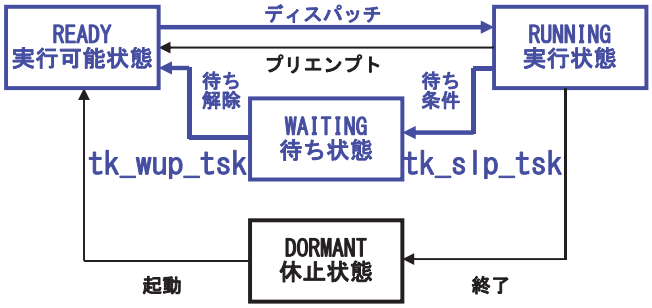
■ 優先度：タスクA＜タスクB



タスク付属同期のシステムコール

自タスクを起床待ち状態へ移行	ER ercd = tk_slp_tsk(TMO tmout);
他タスクの起床	ER ercd = tk_wup_tsk(ID tskid);
タスクの起床要求を無効化	INT wupcnt = tk_can_wup(ID tskid);
他タスクの待ち状態解除	ER ercd = tk_rel_wai(ID tskid);
タスク遅延	ER ercd = tk_dly_tsk(RELTIM dlytim);

■ WAITING状態を利用したスケジューリングを実現する



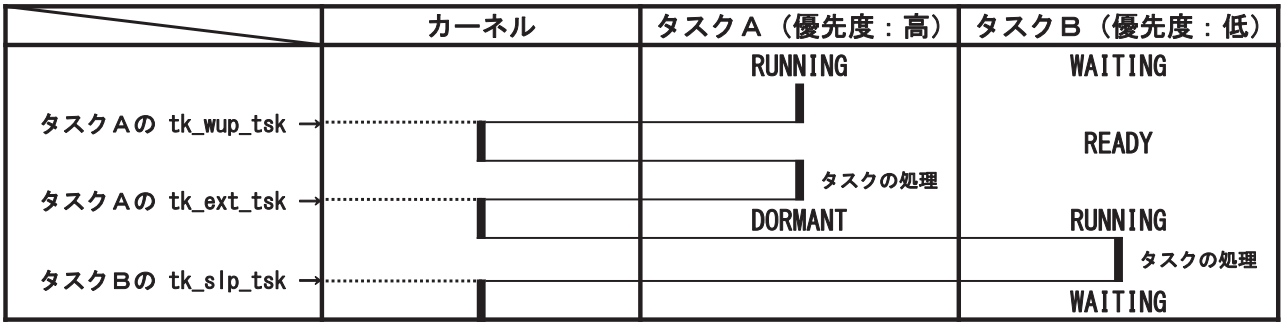

```
void tsk_a(INT stacd, VP exinf)
{
  tk_wup_tsk( gTskid[TSK_B] );
  // タスクに与えられた処理
  tk_ext_tsk( );
}
```

```
void tsk_b(INT stacd, VP exinf)
{
  while( 1 )  {
    tk_slp_tsk( TMO_FEVR );
    // タスクに与えられた処理
    }
}
```

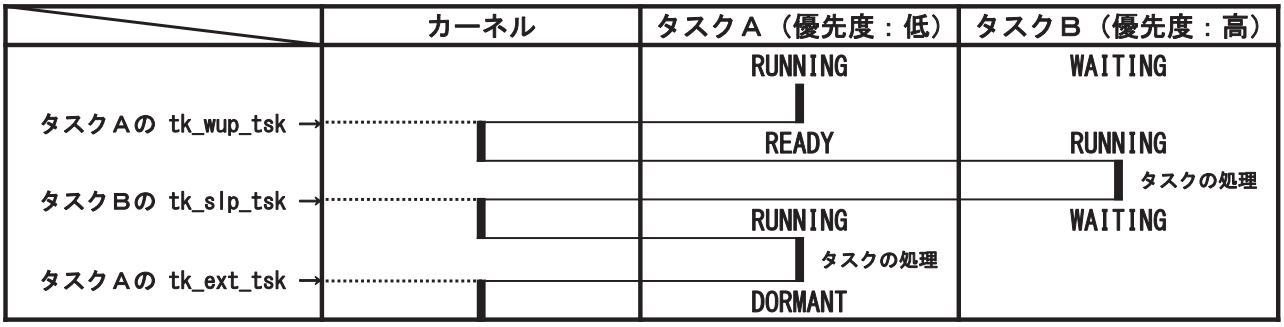
● システムコールのパラメータ
ID　tskid　→　タスクID
TMO　tmout　→　タイムアウト：TMO_FEVRで永久待ち

タスク付属同期のスケジューリング

■ 優先度：タスクＡ＞＝タスクＢ



■ 優先度：タスクＡ＜タスクＢ



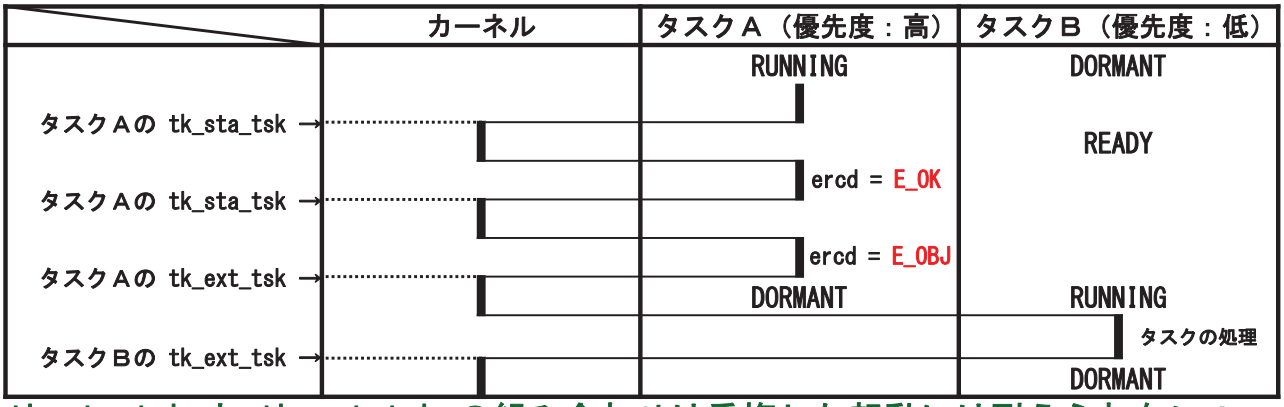
タスク管理とタスク付属同期の違い

```
void tsk_a(INT stacd, VP exinf)
{
ER ercd;
  ercd = tk_sta_tsk( gTskid[TSK_B], 0 );
  ercd = tk_sta_tsk( gTskid[TSK_B], 0 );
  tk_ext_tsk( );
}
```

```
void tsk_b(INT stacd, VP exinf)
{
  // タスクに与えられた処理
  tk_ext_tsk( );
}
```

● システムコールのエラーコード
E_OK → 正常終了
E_OBJ → オブジェクト状態不正

■ 優先度：タスクＡ＞＝タスクＢ



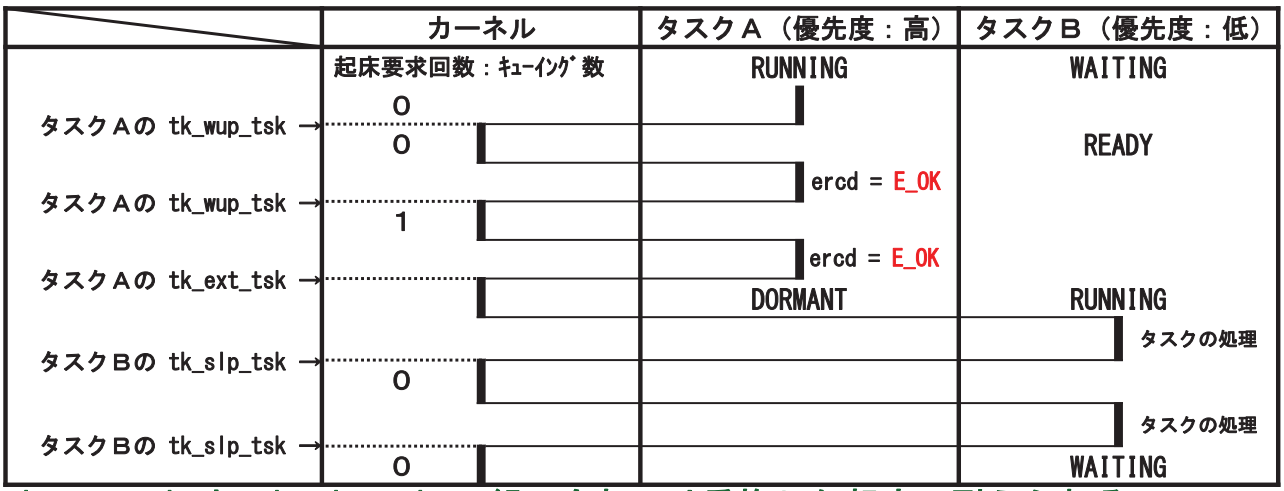
tk_sta_tsk と tk_ext_tsk の組み合わせは重複した起動には耐えられない！

タスク管理とタスク付属同期の違い

```
void tsk_a(INT stacd, VP exinf)
{
ER ercd;
  ercd = tk_wup_tsk( gTskid[TSK_B] );
  ercd = tk_wup_tsk( gTskid[TSK_B] );
  tk_ext_tsk( );
}
```

```
void tsk_b(INT stacd, VP exinf)
{
  while( 1 )  {
    tk_slp_tsk( TMO_FEVR );
    // タスクに与えられた処理
    }
}
```

■ 優先度：タスクＡ＞＝タスクＢ



tk_wup_tsk と tk_slp_tsk の組み合わせは重複した起床に耐えられる！

トロンフォーラム
【土曜講座】組込みリアルタイム OS 入門
(μT-Kernel 入門:協力ルネサスエレクトロニクス)
μT-Kernel 入門

2017 年 12 月 9 日発行

発行所
トロンフォーラム
(YRP ユビキタス・ネットワーキング研究所内)
〒141-0031 東京都品川区西五反田 2-12-3 第一誠実ビル 9F
URL: http://www. tron.org/ja/
TEL:03-5437-0572(代表)　FAX:03-5437-2399(代表)

トロンフォーラム©2017
Printed in Japan