

“H16”用ITRON仕様リアルタイムオペレーティングシステム“HI16”

HI16: A Realtime OS with ITRON specifications for “H16”

ITRON仕様OSは、TRONプロジェクト^{※)}のサブプロジェクトの一つで機器組込みを目的としたリアルタイムOSである。

日立製作所では、HシリーズマイクロコンピュータとしてH8、H16、H32を開発しており、今回このITRON仕様OSをH16(HD641016)用にHI16として製品化した。

HI16は、既に製品化済みのHI68K(HD68000用)に比べH16マイクロプロセッサの持つアーキテクチャを最大限に活用し、より高速な機器組込み用リアルタイムOSとして開発した。特に、レジスタバンクをタスク及び割り込み処理ハンドラに割り付けることによって、リアルタイムOSの性能を左右する、タスク切換え時及び割り込み発生時のレジスタ退避・回復処理を2 μ s(バンク切換え2命令)で実現した。

竹山 寛* Hiroshi Takeyama

清水 剛* Tsuyoshi Shimizu

堀越健一** Ken'ichi Horikoshi

1 緒 言

日立製作所はTRON(The Realtime Operating system Nucleus)プロジェクト^{1)~3)}の一つであるITRON(Industrial The Realtime Operating System Nucleus)仕様^{4)~6)}に準拠した機器組込み用リアルタイムOS(Operating System)を68000にインプリメントし、1987年7月からHI68K⁷⁾として出荷している。

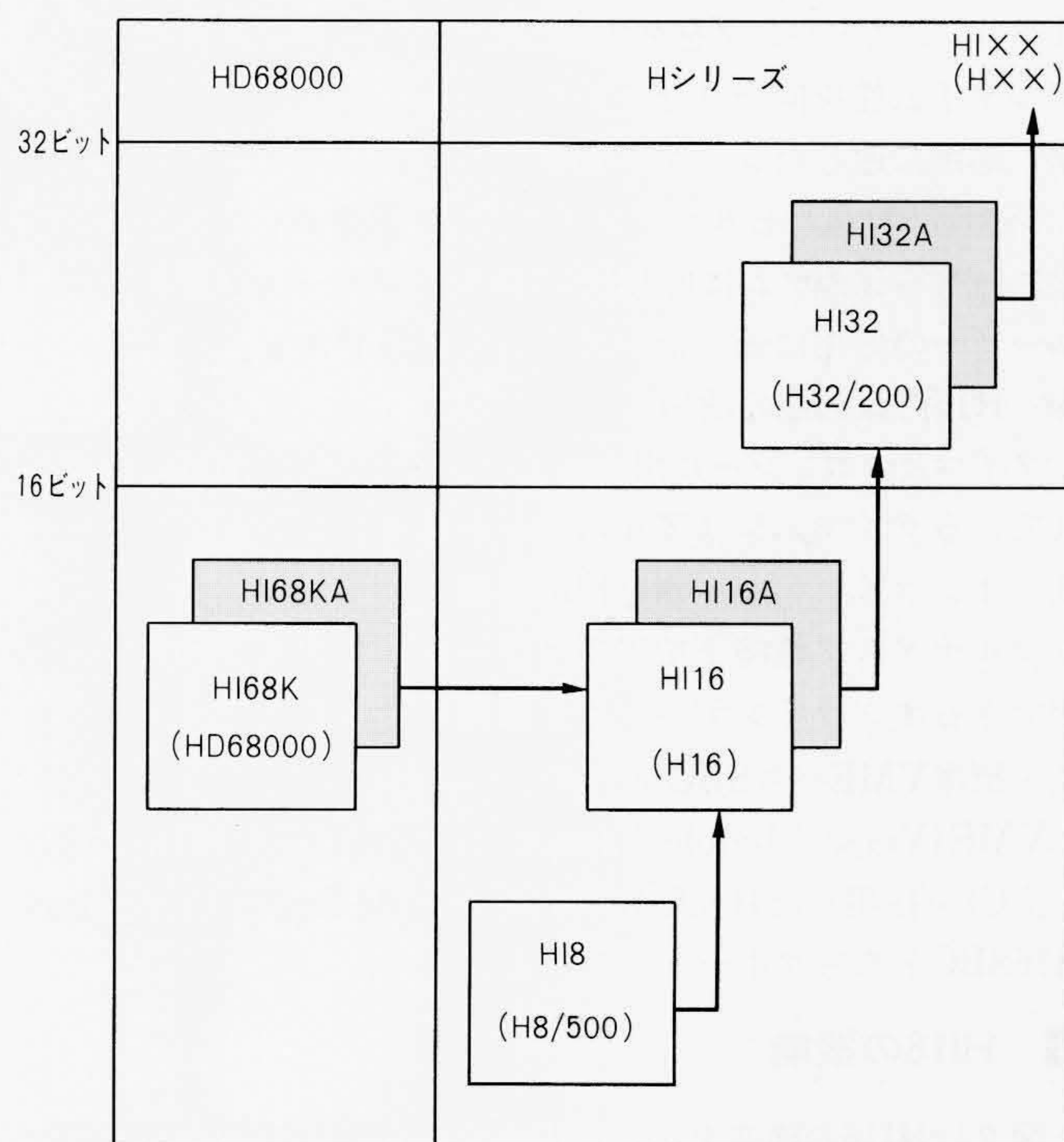
このたび、このITRON仕様OSを日立製作所独自マイクロコンピュータHシリーズの16ビットマイクロプロセッサH16にHI16としてインプリメントした。

H16は、従来のプロセッサに比べ種々の機能〔RAM：Random Access Memoryの内蔵、高機能命令のサポート、タイマ、I/O(入出力)ポートなど〕を持っている。HI16は、ITRON仕様に準拠しながら、プロセッサ独自の機能を活用し、リアルタイムOSで特に問題とされているタスクの切換え処理、タスクのスケジューリング処理の高速化を行った。

本論文では、まずHシリーズマイクロコンピュータに対するHIシリーズ⁸⁾のサポート展開を、次にHI16の機能及び高速化の内容について述べる。

2 HIシリーズにおけるHI16の位置づけ

図1はHD68000及びHシリーズマイクロコンピュータ用に製品化するリアルタイムOSであるHIシリーズの展開を示したものである。それぞれのリアルタイムOSはITRON仕様に準拠しているとともに、各プロセッサの特徴を生かす設計となっている。



注：略語説明 HIXX〔ITRON仕様OS(Operating System)核〕
HIXXA〔ITRON/FILE仕様ファイル管理システム〕

図1 HIシリーズOSの展開 HIシリーズはHD68000用とHシリーズ用があり、図のようなサポート展開を行う。

※) TRONプロジェクトは、東京大学理学部の坂村 健助教授によって提唱され、1990年代の標準リアルタイムOSを目指したものである。

プロセッサの内部処理が16ビットのH8/500シリーズ用HI8は、シングルチップ(内蔵ROM：Read Only Memory、RAMだけで稼動できるようOSのコンパクト化を図り、H32/200用HI32は、H32の持つOS高速化命令を用いリアルタイム性の向

上を図っている。HI16は、H16の持つレジスタバンクを生かしたシステム設計を行った。

また、ITRON/FILE仕様に準拠したファイル管理をHI68K、HI16、HI32用にそれぞれHI68KA、HI16A、HI32Aとして展開していく。

3 HI16の特徴

HI16はHIシリーズが共通で持つ特徴と、プロセッサH16のアーキテクチャを生かした特徴を持っている。

(1) ITRON仕様に準拠する。

ITRON仕様に準拠した各種システム間で、C言語で記述した応用プログラムを容易に移行できる。

(2) ROM化できる。

機器組込み用の部品として使用できるように、ROM化ができるモジュール構造となっている。

(3) リアルタイム性を重視している。

高速応答処理実現のため、非同期に発生する外部割込みに対しOSが介入しない処理方式としている。また、OS内でシステムコール受け付け時のパラメータチェックを取り外す機能、H16のレジスタバンクをタスクに割り付ける機能を付加し、リアルタイム性を向上させている。

(4) 応用に適したシステム構築

システム構築はビルディングブロック構造をしており、各々のユーザーシステムに応じOSの機能モジュールが選択でき、ユーザーの応用に適したシステムを構築できる。

(5) H16内蔵機能の活用

タイマ及びコンソール用ハードウェアとして、H16に内蔵されているタイマ、シリアルポートを活用している。

(6) オンラインデバグを標準装備

マルチタスク環境下でアプリケーションタスクのデバグができるオンラインデバグを装備している。

(7) 標準VMEバスSBCをサポート

VME(Versa Module Europe)バス(IEEE: P1014 Rev. 1. C)を採用した日立製作所SBC(Single Board Computer) HI16SBCを標準サポートしている。

4 HI16の機能

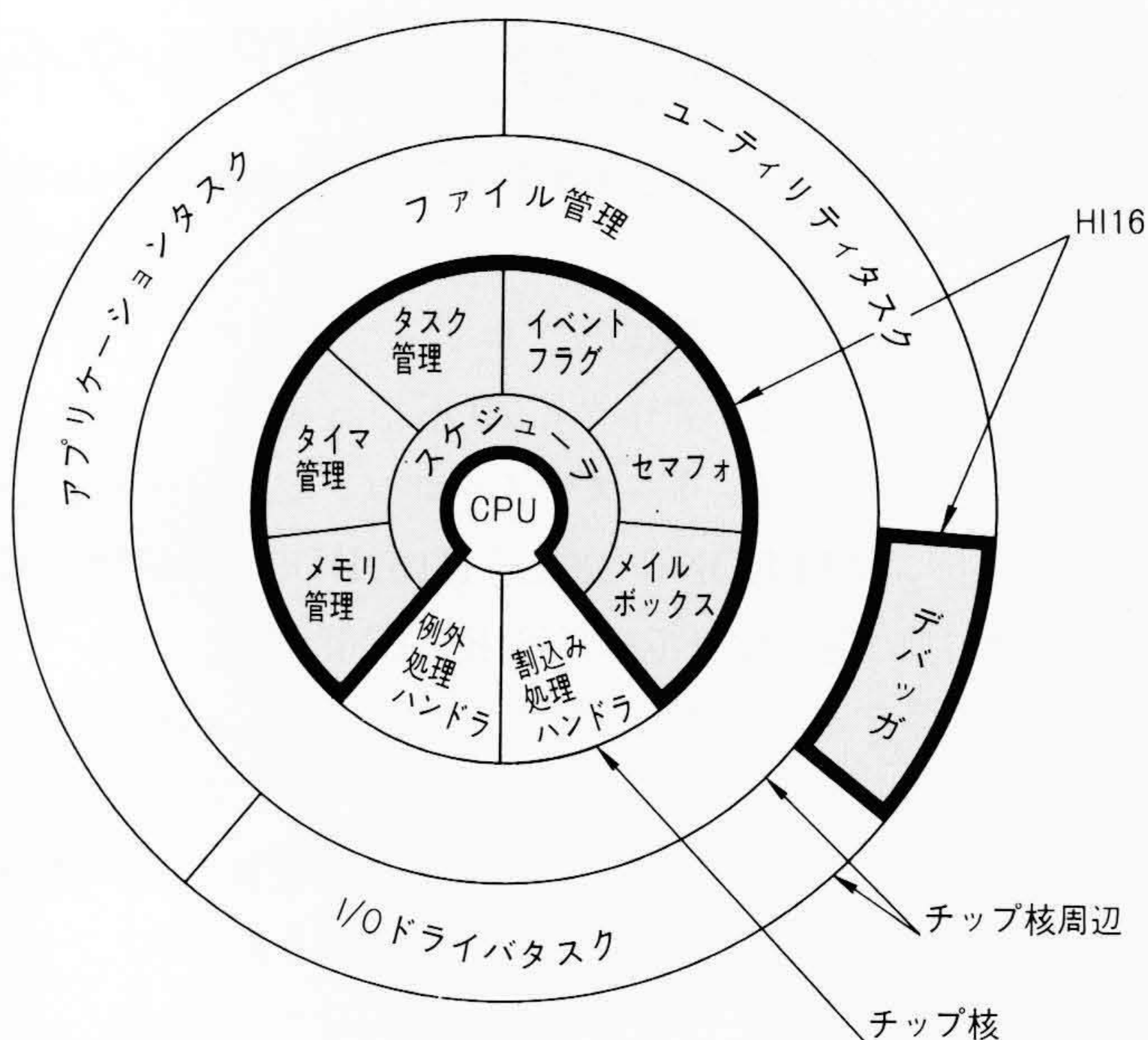
図2はHI16の構造を示したものである。HI16はマルチタスク環境下で各タスクを処理するため、マルチタスク処理の基本部で高速処理を必要とするチップ核と比較的高速性を必要としないチップ核周辺から構成されている。

以下、各機能について述べる。

4.1 タスク管理

図3はタスクの状態遷移を示している。タスクの実行スケジューリングは、タスクの持つ優先度(0~255)に基づいて行われる。同一優先度を持つタスクに対してはFCFS(First Come First Service)で処理する。

また、同一優先度のタスクを均等に実行させるため、タスクの実行待ち行列を回転させるシステムコール(rot_rdq)を用意している。このほか、指定した時間又は同期的にタスクを実行させるシステムコール、タスクの実行を強制的に中断す



注：略語説明 I/O (Input/Output)
CPU (Central Processing Unit)

図2 HI16の構造 太線で囲まれた部分をHI16で提供する。ファイル管理は別製品HI16Aで提供する。

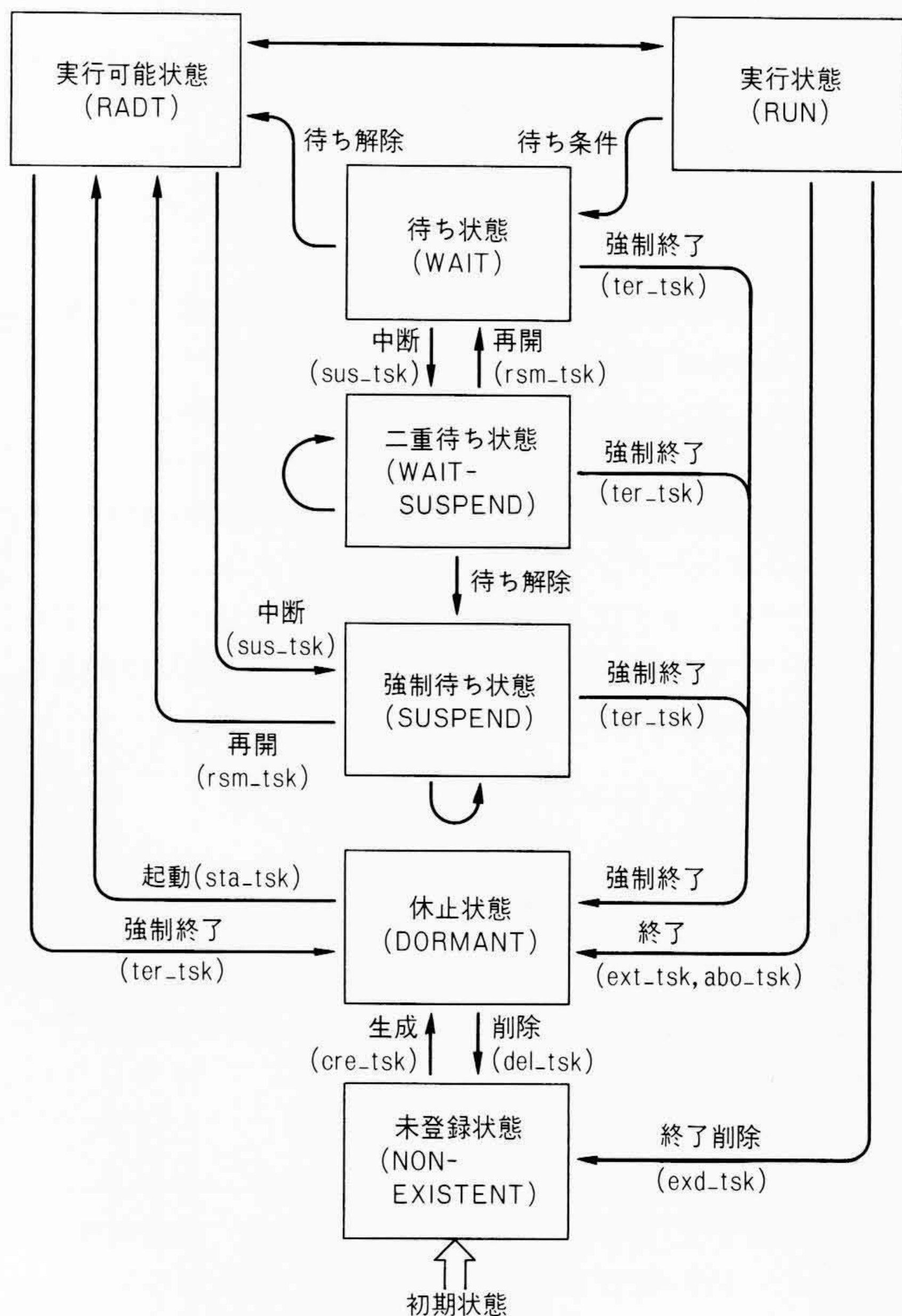


図3 HI16タスク状態遷移図 遷移を示す矢印上に記述されている()内は、システムコールを示す。HIシリーズでは七つのタスク状態を持ち管理する。

るシステムコールなど、タスク管理用に20のシステムコールがある。

4.2 タスクの同期通信

タスク間での同期や通信処理のため、高速同期、又は複数の事象を扱う同期処理用にイベントフラッグ、資源の排他制御用にセマフォ、メッセージ通信用にメールボックスの3種類の機能を備えている。

4.3 メモリ管理

メモリプールと呼ぶ連続したメモリ領域からタスクの要求に従い、メモリの割付け、解除管理を行う。

4.4 タイマ管理

時刻の設定・参照、タスクの事象待ち時間の監視、時間を用いたタスクの実行スケジューリングなどの管理をする。

標準ハードウェアタイマとして、H16に内蔵されているタイマを使用し、最小で1ms単位の制御を行う。

4.5 割込み処理ハンドラ

ユーザーが作成する外部割込み処理プログラムで、システムコールを用いて割込みベクタごとにシステムにダイナミックに登録する。

4.6 例外処理ハンドラ

バスエラーやゼロ除算などのCPU (Central Processing Unit)に関する例外、トラップ命令例外、システムコールエラー例外の発生に対し、各々タスクレベル及びシステムレベルで例外処理ハンドラをユーザーが作成し、システムに登録できる。

4.7 デバッグ

デバッグは一つのタスクとして実行され、コンソールから入力されるデバッグ用のコマンドに従いユーザータスクのデバッグを行う。デバッグは、タスクの実行制御、システムコールトレースコマンド、メモリの変更・参照・検索コマンドなどを備えており、マルチタスク環境下でのデバッグを行う。

4.8 システムコール

表1にHI16のシステムコール一覧を示す。システムコールは、ITRON仕様でC言語とアセンブラ言語について規定されている。HI16は、ITRON仕様のシステムコール50個と、H16レジスタバンク制御のシステムコール2個の合計52個のシステムコールを用意している。また、ITRON仕様システムコールには、ユーザー固有のシステムコール処理が行える拡張システムコール定義用のシステムコールも用意されている。

5 HI16の高速処理の実現

H16は16ビットのマイクロプロセッサで、内蔵RAM(レジスタバンク)、ビットフィールド操作命令及び割込みコントローラ素子を必要としない強力な割込み処理機能を提供している。HI16は、これらプロセッサの機能を生かして、高速応答処理を行うリアルタイムOSとして開発したものである。

5.1 レジスタバンク活用によるタスクスイッチ高速化

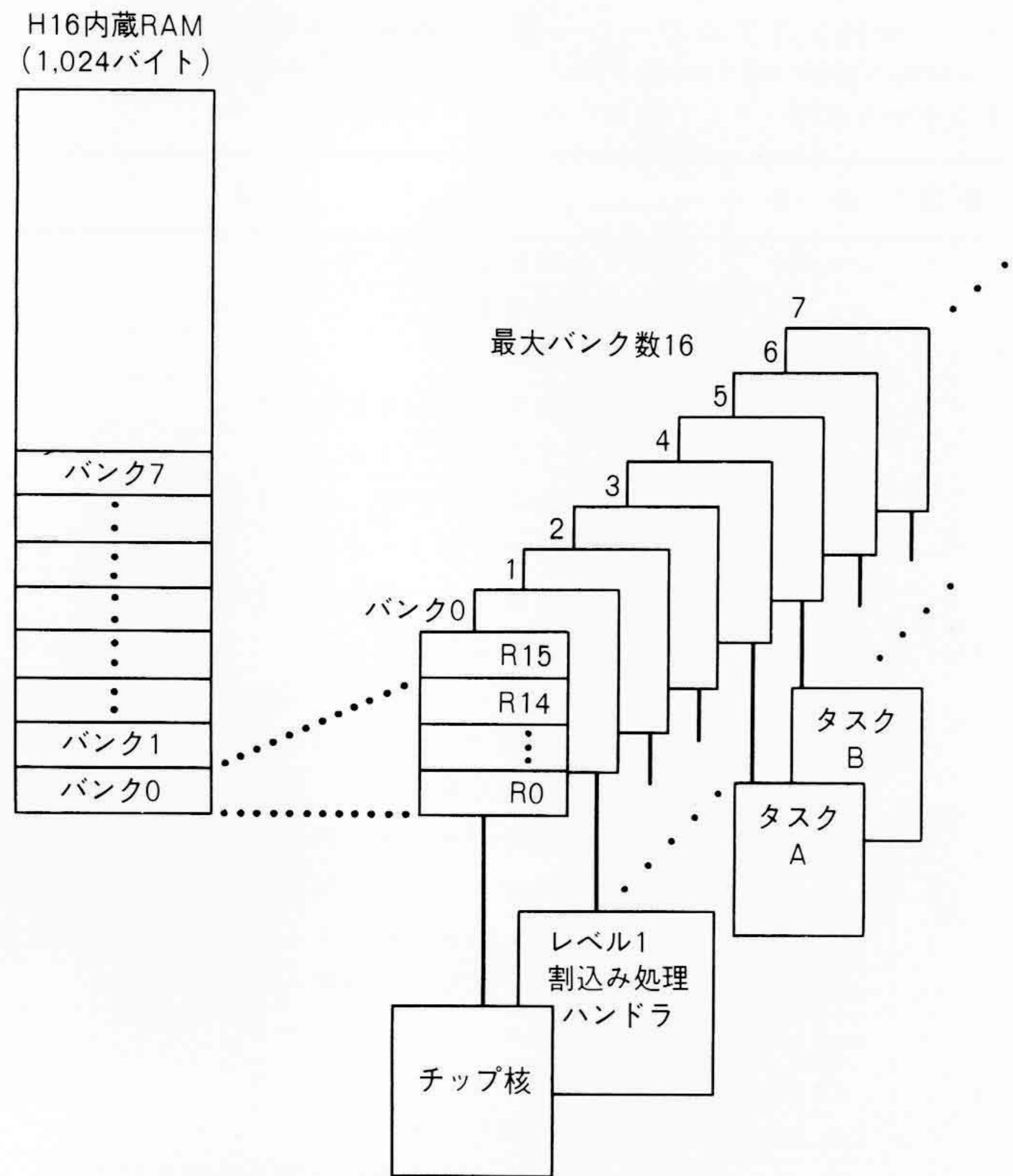
H16は、16本のはん(汎)用レジスタ(R0～R15)を持ち、最大16個のレジスタバンクを内蔵RAM(1,024バイト)に割り当てることができる。

レジスタバンクのモードには、グローバルバンクモードと

表1 HI16システムコール一覧 HI16ではITRON(Industrial The Realtime Operating system Nucleus)仕様のシステムコールとHI6アーキテクチャをサポートしたシステムコールを提供している。

項目	命令	内容
タ ス ク 管 理	cre_tsk	タスクを生成する。
	sta_tsk	タスクを起動する。
	del_tsk	タスクを削除する。
	def_ext	終了時処理ルーチンを定義する。
	ext_tsk	自タスクを正常終了する。
	exd_tsk	自タスクを正常終了後、削除する。
	abo_tsk	自タスクを異常終了させる。
	ter_tsk	他タスクを強制的に異常終了させる。
	chg_pri	タスク優先度を変更する。
	rot_rdq	タスクのレディーキューを回転する。
	tcb_adr	タスクのTCBアドレスを得る。
	tsk_sts	タスクの状態を見る。
	sus_tsk	タスクを強制待ち状態へ移行する。
	rsm_tsk	強制待ち状態のタスクを再開する。
	slp_tsk	タスクを待ち状態へ移行する。
	wai_tsk	タスクを一定時間待ち状態へ移行する。
同 期 ・ 通 信 機 能	wup_tsk	待ち状態のタスクを起床させる。
	can_wup	タスクの起床要求を無効にする。
	cyc_wup	タスクを周期起床する。
	can_cyc	タスクに出された周期起床要求を無効にする。
	cre_flg	イベントフラグを生成する。
	del_flg	イベントフラグを削除する。
	set_flg	イベントフラグをセットする。
	wai_flg	イベントフラグの条件満足を待つ。
	flg_adr	イベントフラグアクセスアドレスを得る。
	cre_sem	セマフォを生成する。
	del_sem	セマフォを削除する。
	sig_sem	セマフォに対する信号操作(V命令)
割 込 み 処 理	wai_sem	セマフォに対する待ち操作(P命令)
	sem_adr	セマフォアクセスアドレスを得る。
	cre_mbx	メールボックスを生成する。
	del_mbx	メールボックスを削除する。
	snd_msg	メッセージを送信する。
	rcv_msg	メッセージを受信する。
	mbx_adr	メールボックスアクセスアドレスを得る。
	def_int	割込みハンドラを定義する。
	ret_int	割込みハンドラから復帰する。
	set_int	割込みマスクをセットする。
処 例 外	iret_wup	割込み処理からの復帰とタスク起床を行う。
	def_exc	例外処理ハンドラを定義する。
メ モ リ 管 理	ret_exc	例外処理ハンドラから復帰する。
	cre_mpl	メモリプールを生成する。
	del_mpl	メモリプールを削除する。
	get_blk	メモリブロックを獲得する。
	rel_blk	メモリブロックを解放する。
管 理 時 間	mpl_adr	メモリプールアクセスアドレスを得る。
	set_tim	システムクロックを設定する。
制 バ ン ク 御	get_tim	システムクロックの値を読み出す。
	asn_bnk	グローバルバンクの割付け
そ の 他	get_rng	リングバンクの獲得
	get_ver	バージョン識別子を得る。
	def_svc	拡張SVCハンドラを定義する。

注：略語説明など TCB(Task Control Block)
SVC(Super Visor Call)
*(ITRON仕様以外の機能)



注：略語説明 RAM (Random Access Memory)

図4 グローバルバンク活用によるコンテキストスイッチの高速化
これはバンク活用によるHI16の構造を示している。

リングバンクモードの2種類があり、モードとバンク数の設定はBMR(バンクモードレジスタ)で行う。

図4はグローバルバンクの使用方法を示したものである。1 グローバルバンクは、16本のレジスタセットから構成され、各レジスタははん用レジスタとして使用される。グローバルバンクは、GBNR(グローバルバンクナンバーレジスタ)にグローバルバンク番号を指定することにより切り換えられる。GBNRの指定は特権命令で行われる。

表2はHI16でのバンクの割当てを示したものである。グローバルバンクはニュークリアス用に1個、割込みハンドラ用に3個、ハイプライオリティタスク用(リザーブバンク)に11

個、一般タスク用(共通バンク)に1個割り付けることができる。リザーブバンクは、特定のタスクに限定されずasn_bnkシステムコール発行タスクから自由に利用できる。バンクの利用により、外部割込みを処理する割込み処理ハンドラ、スケジューラでのタスクの切換えがバンク切換え操作(レジスタの退避・回復)で行える。

リングバンクは、レジスタセットを一種のレジスタキャッシュとして使用させるもので、構造化プログラム(例えばC言語記述プログラム)からのプロシジャコール(サブルーチンコール)処理を高速に実行することができる。このリングバンク制御のため、HI16はget_rngシステムコールを用意している。なお、asn_bnk、get_rngは、ITRON仕様システムコールではなく、HI16用にサポートしている。

このように、HI16は、ユーザーシステムのリアルタイム性の保証で問題となるタスク(プロセス)切換え時のレジスタ退避・回復処理を高速に実行できる。

5.2 システムリソース管理の高速化

OSは、システムリソース(空きメモリブロック、タスクのレディーキューなど)の管理を行う。このリソース管理処理は、システムオーバヘッド要因の一つでリアルタイム性に大きく影響するものである。

ビットマップテーブルの管理は、ビットのセット・リセット処理とビット値が0又は1のものを検索することである。ビットマップテーブルの管理で特に処理速度が要求されるのはビットの検索処理である。図5を用いて、検索命令(BFSCH)利用によるタスクのレディーキュー処理の高速化について述べる。

レディータスクキューは、優先度が0～255のタスクを登録・管理している。また、ビットマップテーブルはタスクの優先度に各ビットを対応させ、キューにタスクが存在すれば1、なければ0の値を設定してタスクを管理する。このビットマップテーブルでタスクの優先度が“0”に対応するビットを起点とし、ビットの値が1(キューにタスクが存在する。)の対応する優先度のレディータスクキューに登録されているタスクを実行させる。

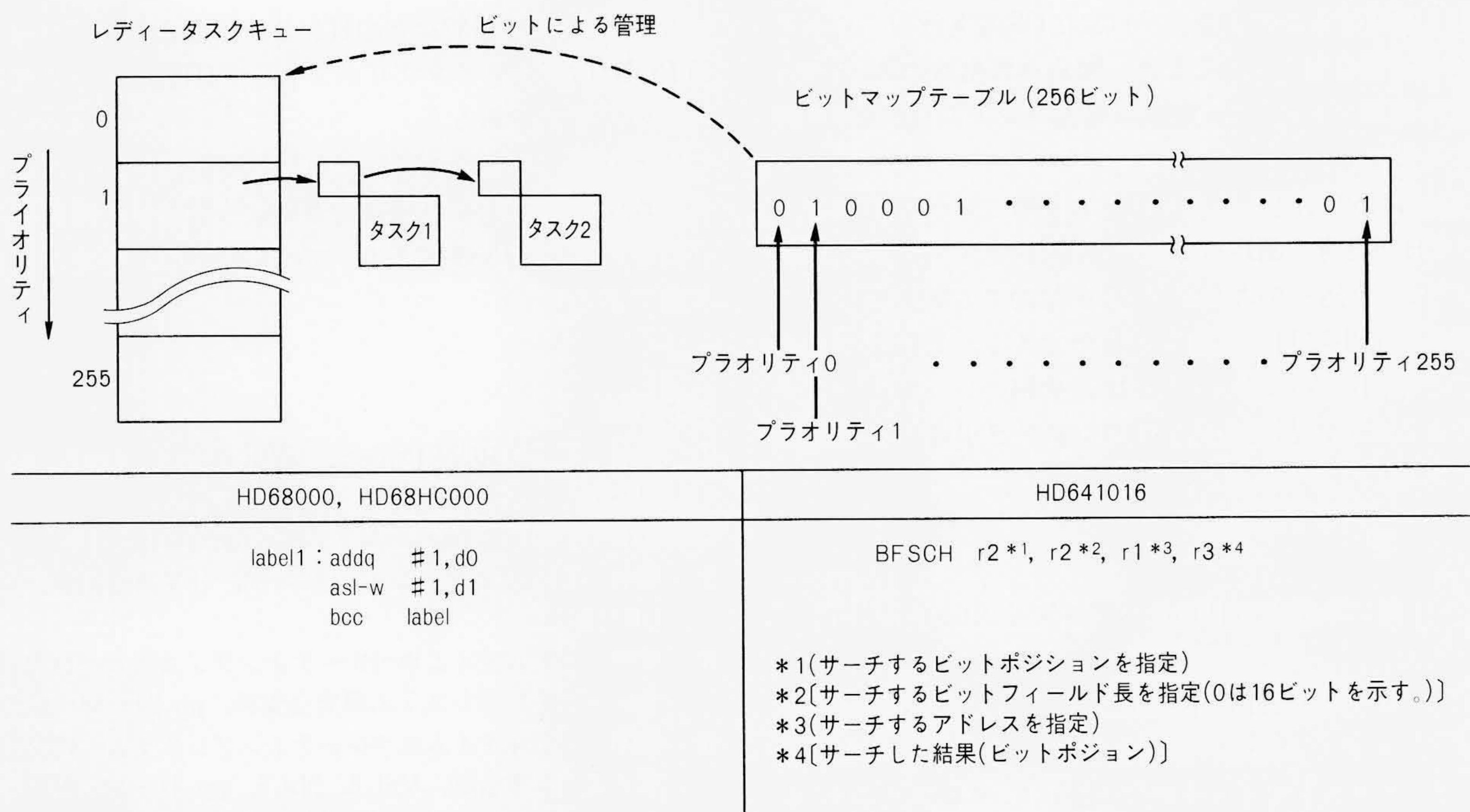
5.3 割込み処理の高速化

リアルタイム性の保証は、非同期に発生する外部割込みに

表2 バンクの割付け HI16では、グローバルバンクとリングバンクの割付けを表に示すように行い、コンテキストスイッチ処理の高速化を図っている。

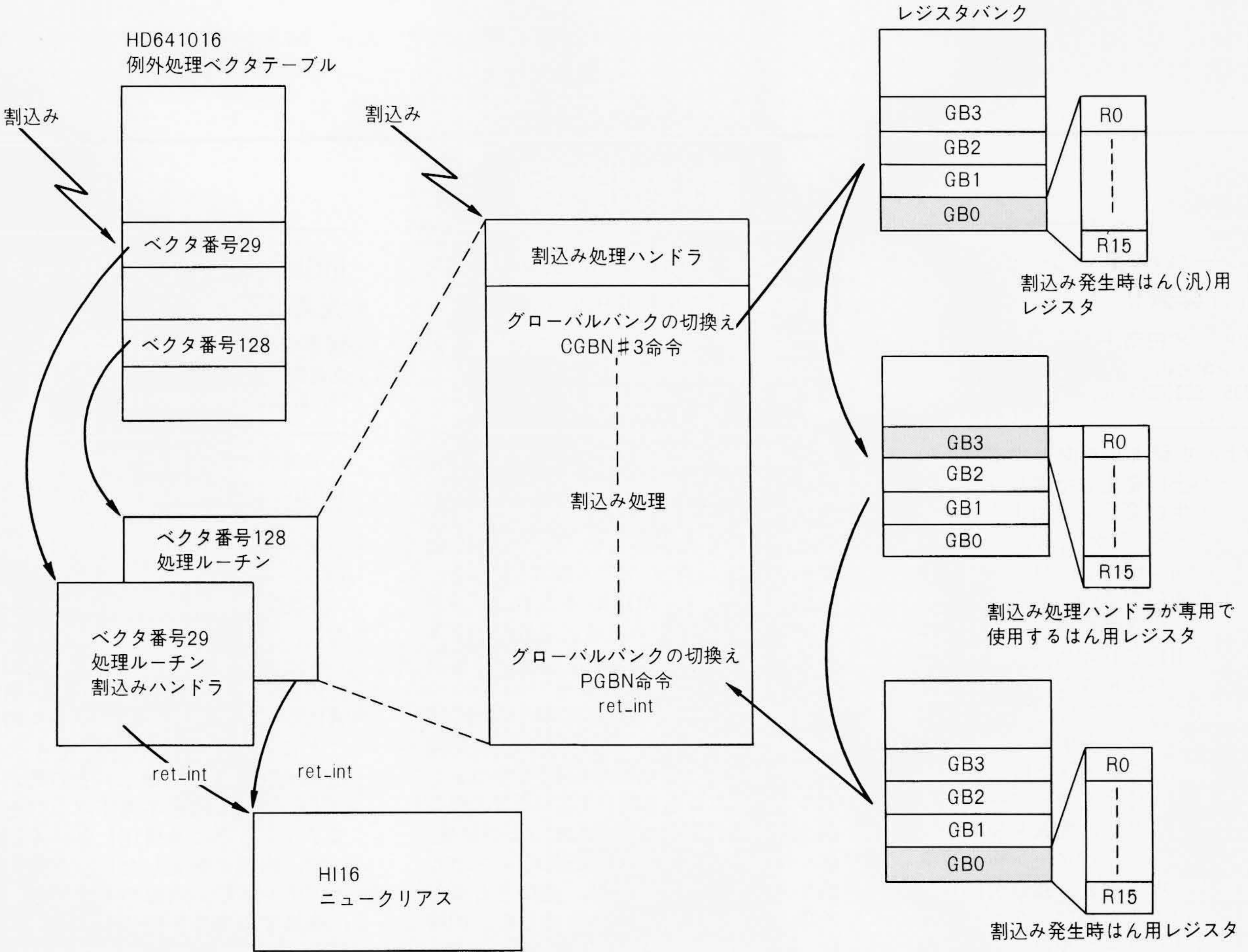
バンクの名称		バンク番号	割り付けるオブジェクト	備考
システム用バンク	グローバルバンク	システムバンク GB0	ニュークリアス	――
		共通バンク GB4	リザーブバンクを持たないタスク	――
ユーザー用バンク	グローバルバンク	割込みバンク GB1	割込み処理ハンドラ(レベル1)	――
		GB2	割込み処理ハンドラ(レベル2)	――
		GB3	割込み処理ハンドラ(レベル3)	――
	リザーブバンク	GB5～GB15	asn_bnkシステムコールにより割り付けられたタスク	セットアップファイルによって数が指定できる。
	リングバンク	RB0～RB7	get_rngシステムコールによって獲得したタスク	セットアップファイルによって使用の有無が指定できる。

注：略語説明 GB(Global Bank) RB(Ring Bank)



注：略語説明 BFSCH (Bit Field data Sear CH)

図5 レディータスクキューの管理 16ビットサーチするためにHD68000では3×16の計48ステップ必要であるが、HD641016では、BFSCH 1ステップでキューのサーチが完了する。



注：略語説明 CGBN (push and Change Global Bank Number), PGBN (Pull Global Bank Number)

図6 割り込み処理の高速 例外処理ベクタにより割り込み処理ハンドラはOSの介入なしに起動され、レジスタの退避、回復はレジスタバンク切換えにより高速に行われる。

いかに速く応答するかである。それにはOS内実行中での割込み禁止処理時間を短くすることと、割込み発生時にOSの介入なく割込み処理プログラム(割込み処理ハンドラ)に制御を渡すことである。

図6は、HI16の割込み処理を示したものである。HI16は、プロセッサH16自身の割込み処理から直接ユーザーの割込み処理プログラム(割込み処理ハンドラ)を起動する機能を持っており、割込み発生に対し高速な応答ができる。更に、割込みレベルごとに割込み処理ハンドラは、専用のレジスタバンクを使用できるため、割込み発生時のレジスタ退避・回復処理が不要である。

6 結 言

ITRON仕様に準拠したH16用リアルタイムOSをHI16として製品化した。

HI16は、プロセッサH16の持つレジスタバンク、高機能命令を活用しリアルタイム処理の高速化を図り、最大割込み禁止時間80 μ s、コンテキストスイッチ時間2 μ s(バンク切換え命令)を実現した。またタスクスイッチを伴うシステムコールwup_tsk(タスクの起床)で156 μ sの結果が得られ、HD68000用のHI68Kに比べて1.2倍の性能を実現している。タスクの起床時間は、システムコールが発行されてから起床されたタスクに制御が渡るまでの処理時間である。

今後は、H8、H32などのHシリーズマイクロプロセッサにITRON仕様OSをインプリメントし、HIシリーズの充実を図っていく予定である。

終わりに、本製品の開発に当たり御指導をいただいた東京大学理学部の坂村 健工学博士及び外部仕様の標準化で協力いただいたTRON研究グループの各位に対し感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 坂村：The TRON Project, IEEE Micro, April, pp.8~14 (1988)
- 2) 坂村：TRONを創る, 共立出版, pp.88~132(1987)
- 3) 坂村：TRONで変わるコンピュータ, 日本実業出版, pp.48~145(1987)
- 4) 坂村：リアルタイムオペレーティングシステム—ITRON, オペレーティングシステム研究会資料, pp.24~34(1984)
- 5) 坂村：リアルタイムオペレーティングシステム—ITRON, 日本ロボット学会誌, Vol.3, No.5, pp.41~48(1985)
- 6) 坂村編：ITRON入門, 岩波書店, pp.2~56(1988)
- 7) リアルタイムオペレーティングシステムHI68K, パーソナルメディア, pp.21~31(1987)
- 8) 竹山, 外：The HI Series Operating Systems with ITRON, 坂村編TRON Project 1987, Springer-Verlag, pp.57~70 (1987)

論文抄録

LSIウェーハパターン 外観検査装置

日立製作所 依田晴夫
テレビジョン学会誌
41, 10, 885~888(昭62-10)

LSIの生産歩留まりを向上するためには、ウェーハ上に発生した微細な欠陥を発見し、その生起原因を究明する外観検査が不可欠である。しかし、近年LSIパターンは急速に高集積化し、目視では十分な検査が不可能になりつつある。

本論文は、この課題を解決するために開発され、実用化され始めているウェーハパターン自動外観検査装置について、その画像認識技術を解説したものである。

ウェーハパターンは多層構造をしているうえに、表面にグレインと呼ばれる斑点模様があり、単純に基準パターンと比較しただけでは、多くの虚報を発生することになる。ウェーハパターン検査装置では、虚報の発生を抑え、致命欠陥だけを超高速に摘出するために、グロスマッチング法、設計パターン参照法など、新しい画像処理手法が開発された。本稿では、これらの特徴的な手法について紹介する。

シグネチャ検査法のエイリアス 確率と符号の重み分布

日立製作所 岩崎一彦・西向井忠彦
電子情報通信学会論文誌D
J71-D, 9, 1797~1803(昭63-9)

集積回路の検査法としてシグネチャ検査という方法が提案されている。この検査法の一つの問題点は、被検査回路からの出力に含まれる誤りを、すべては検出できないこと(エイリアス誤り)である。検査回路として、MISR(多入力シグネチャレジスタ)が用いられる。これに対するエイリアス誤りは、従来、過渡的な性質が知られていなかった。

本論文では、誤り訂正符号の理論を検査手法に応用した。すなわち、最大距離分離符号と呼ばれる誤り訂正符号のシンボルでの重み分布を用いて、MISRの誤り検出能力を代数的に解析した。その結果、単一MISR及び多重化MISRのシンボル誤りのエイリアス確率は、選択する原始多項式に依存しないことを示した。同時に、エイリアス確率は滑らかに収束することを示した。

InGaAsP/InPモノリシック 光集積回路

坂野伸治・中村 均・他2名
応用物理
56, 5, 649~650(昭62-5)

光通信や光情報処理の分野での応用を目的に、光集積回路を開発した。

この光集積回路は発光、受光、光スイッチング、光増幅と四つの機能を持っている。

本光集積回路の開発のキーとなった技術は、発光・受光素子と同じ半導体材料にキャリアを注入すると、吸収端波長付近の屈折率が低下する現象を利用し、非常に小形の半導体光スイッチを開発したことにある。この半導体光スイッチをInGaAsP/InPで構成し、その光入出力ポートに分布帰還形半導体レーザを計4個モノリシックに集積化した。本構成によって、内部で発光したレーザ信号光をスイッチングし、内部の受光器で電気信号に変換する動作を確認した。また、その信号光を増幅して、出力ポートから出射する動作の確認も行った。このように、多数の機能を持つ光集積回路は世界で最初である。