

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2023-21662
(P2023-21662A)

(43)公開日 令和5年2月14日(2023.2.14)

(51)国際特許分類
G 0 6 F 9/50 (2006.01)

F I
G 0 6 F 9/50 1 5 0 D

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全24頁)

(21)出願番号	特願2021-126671(P2021-126671)	(71)出願人	000005223
(22)出願日	令和3年8月2日(2021.8.2)		富士通株式会社
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
		(74)代理人	110002918
			弁理士法人扶桑国際特許事務所
		(72)発明者	平井 聡
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

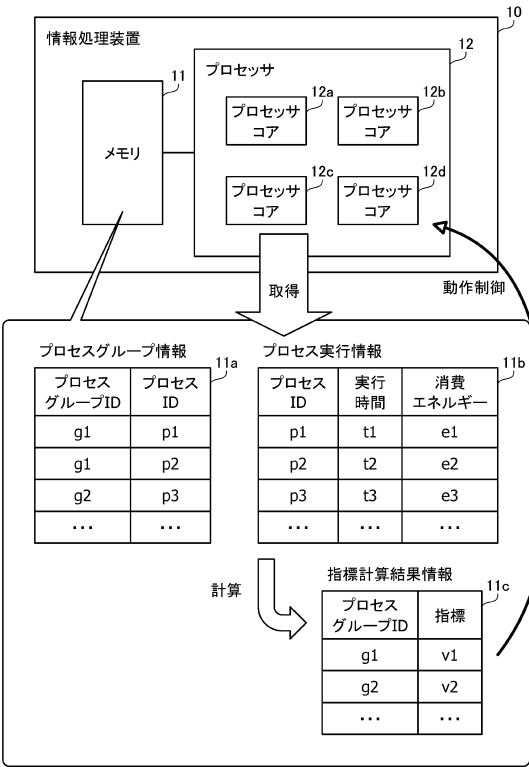
(54)【発明の名称】 プログラムおよび管理方法

(57)【要約】

【課題】プロセッサを効率的に利用可能にすること。

【解決手段】プロセッサ12は、第1プロセッサコアにより実行するプロセスを第1プロセスから第2プロセスに切り替える際に、第1プロセスの実行時間と当該実行時間の間の第1プロセッサコアの消費エネルギーとを取得する。プロセッサ12は、それぞれがプロセスのグループである複数のプロセスグループのうち、第1プロセスが属する第1プロセスグループに属する1以上のプロセスを特定する。プロセッサ12は、特定した1以上のプロセスに対して取得された実行時間と消費エネルギーとに基づいて、第1プロセスグループの実行に伴う単位時間当たりの消費エネルギーを示す指標を計算する。プロセッサ12は、第1プロセスグループに属するプロセスを次に実行開始する際に、第1プロセスグループに対して計算した指標と閾値との比較に応じて、当該プロセスを割り当てるプロセッサコアの動作を制御する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数のプロセッサコアのうちの第 1 プロセッサコアにより実行するプロセスを第 1 プロセスから第 2 プロセスに切り替える際に、前記第 1 プロセスの実行時間と前記実行時間の間の前記第 1 プロセッサコアの消費エネルギーとを取得し、

それぞれがプロセスのグループである複数のプロセスグループのうち、前記第 1 プロセスが属する第 1 プロセスグループに属する 1 以上のプロセスを特定し、特定した前記 1 以上のプロセスに対して取得された前記実行時間と前記消費エネルギーとに基づいて、前記第 1 プロセスグループの実行に伴う単位時間当たりの前記消費エネルギーを示す指標を計算し、

10

前記第 1 プロセスグループに属する前記プロセスを次に実行開始する際に、前記第 1 プロセスグループに対して計算した前記指標と閾値との比較に応じて、当該プロセスを割り当てるプロセッサコアの動作を制御する、

処理をコンピュータに実行させるプログラム。

【請求項 2】

前記プロセッサコアの動作の制御では、前記プロセッサコアの動作周波数および電圧の少なくとも一方を制御する、

請求項 1 記載のプログラム。

【請求項 3】

前記プロセッサコアの動作の制御では、前記指標が前記閾値以上の場合に、前記プロセッサコアの動作周波数および電圧の少なくとも一方を低減させる、

20

請求項 2 記載のプログラム。

【請求項 4】

前記指標の計算では、前記 1 以上のプロセスに対して取得された前記実行時間と前記消費エネルギーとに基づいて、前記 1 以上のプロセスそれぞれの実行時における前記単位時間当たりの前記プロセッサコアの前記消費エネルギーを算出し、前記 1 以上のプロセスそれぞれの実行時における前記単位時間当たりの前記消費エネルギーの積算値を算出する、

請求項 1 記載のプログラム。

【請求項 5】

前記指標の計算では、前記 1 以上のプロセスに対して取得された前記実行時間と前記消費エネルギーとに基づいて、前記 1 以上のプロセスそれぞれの実行時における前記単位時間当たりの前記プロセッサコアの前記消費エネルギーの平均値を算出する、

30

請求項 1 記載のプログラム。

【請求項 6】

前記消費エネルギーの取得では、前記第 1 プロセッサコアが備えるカウンタであって、前記第 1 プロセッサコアにより消費されたエネルギーに応じたイベントの発生回数を計数する前記カウンタにより計数された前記イベントの発生回数を読み出し、読み出した前記イベントの発生回数に基づいて前記消費エネルギーを取得し、前記カウンタを 0 にリセットする、

請求項 1 記載のプログラム。

40

【請求項 7】

前記指標と前記閾値との比較では、前記複数のプロセスグループそれぞれに対応する前記閾値を保持するメモリから前記第 1 プロセスグループに対応する前記閾値を取得し、取得した前記閾値と前記指標とを比較する、

請求項 1 記載のプログラム。

【請求項 8】

前記複数のプロセッサコアは、前記コンピュータにおける 1 または複数のプロセッサに含まれる、

請求項 1 記載のプログラム。

【請求項 9】

50

コンピュータが、

複数のプロセッサコアのうちの第1プロセッサコアにより実行するプロセスを第1プロセスから第2プロセスに切り替える際に、前記第1プロセスの実行時間と前記実行時間の間の前記第1プロセッサコアの消費エネルギーとを取得し、

それぞれがプロセスのグループである複数のプロセスグループのうち、前記第1プロセスが属する第1プロセスグループに属する1以上のプロセスを特定し、特定した前記1以上のプロセスに対して取得された前記実行時間と前記消費エネルギーとに基づいて、前記第1プロセスグループの実行に伴う単位時間当たりの前記消費エネルギーを示す指標を計算し、

前記第1プロセスグループに属する前記プロセスを次に実行開始する際に、前記第1プロセスグループに対して計算した前記指標と閾値との比較に応じて、当該プロセスを割り当てるプロセッサコアの動作を制御する、

管理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はプログラムおよび管理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

現在、情報処理装置が備えるプロセッサはマルチコア化されていることが多い。プロセッサは、複数のプロセッサコアを有し、複数のプロセッサコアを用いて複数の演算を並列に実行し得る。ここで、プロセッサの動作を制御する技術が考えられている。

【0003】

例えば、プロセスごとに実行命令数やメモリアクセス数といったイベントの発生回数をカウントする情報処理装置の提案がある。提案の情報処理装置は、プロセス切り替え発生時、切り替え後プロセスに対するイベントの発生回数のカウント値と閾値との比較結果に基づいて、プロセッサにおけるオーバークロック機能の有効または無効を決定し、クロック周波数を制御する。これにより、プロセスの動作特性に応じて、プロセッサにおける処理効率を効果的に向上させる一方で、無駄な消費電力が抑制される。

【0004】

また、同程度の負荷の処理を実行するなどのように互いに相関のある論理プロセッサ同士をグループ化して管理するマルチプロセッサシステムの提案もある。提案のマルチプロセッサシステムは、物理プロセッサへの割り当て対象となっている論理プロセッサが属する論理プロセッサグループに属する論理プロセッサの電力状態情報に基づいて、論理プロセッサが割り当てられる物理プロセッサの電力状態情報を決定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2012-164006号公報

【特許文献2】特開2012-181627号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記提案のように、クロック周波数変更などの動作制御により、プロセッサで単位時間に消費されるエネルギーの制御やプロセッサの処理効率の向上を図ることが考えられる。

ところで、情報処理装置は、ジョブ、仮想マシンまたはコンテナなどに対応する一群のプロセスのグループ、すなわち、プロセスグループとして各プロセスを管理することがある。例えば、情報処理装置のオペレーティングシステムは、ある時点において存在する複数のプロセスグループを管理し得る。

【0007】

10

20

30

40

50

しかし、上記提案のようにプロセスごとのイベントのカウント値と閾値との比較結果でプロセッサ単位のクロック周波数を制御する方法では、プロセスグループごとにプロセッサを効率的に利用するのが難しいことがある。例えば、あるプロセスグループのプロセスを実行するプロセッサコアと、他のプロセスグループのプロセスを実行する他のプロセッサコアとが同一プロセッサに存在する場合に、各プロセスグループに対して細かなプロセッサの動作制御を行えないという問題がある。

【0008】

1つの側面では、本発明は、プロセッサを効率的に利用可能にするプログラムおよび管理方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【0009】

1つの態様では、プログラムが提供される。このプログラムは、コンピュータに、複数のプロセッサコアのうちの第1プロセッサコアにより実行するプロセスを第1プロセスから第2プロセスに切り替える際に、第1プロセスの実行時間と実行時間の間の第1プロセッサコアの消費エネルギーとを取得し、それぞれがプロセスのグループである複数のプロセスグループのうち、第1プロセスが属する第1プロセスグループに属する1以上のプロセスを特定し、特定した1以上のプロセスに対して取得された実行時間と消費エネルギーとに基づいて、第1プロセスグループの実行に伴う単位時間当たりの消費エネルギーを示す指標を計算し、第1プロセスグループに属するプロセスを次に実行開始する際に、第1プロセスグループに対して計算した指標と閾値との比較に応じて、当該プロセスを割り当てるプロセッサコアの動作を制御する、処理を実行させる。

20

【0010】

また、1つの態様では、管理方法が提供される。

【発明の効果】

【0011】

1つの側面では、プロセッサを効率的に利用可能にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】第1の実施の形態の情報処理装置を説明する図である。

【図2】第2の実施の形態の情報処理装置のハードウェア例を示す図である。

30

【図3】CPUのハードウェア例を示す図である。

【図4】PMUのハードウェア例を示す図である。

【図5】情報処理装置の機能例を示す図である。

【図6】プロセス消費電力管理テーブルの例を示す図である。

【図7】プロセスグループ消費電力管理テーブルの例を示す図である。

【図8】切り替え元プロセス管理処理の例を示すフローチャートである。

【図9】切り替え先プロセス管理処理の例を示すフローチャートである。

【図10】管理情報の遷移の第1の例を示す図である。

【図11】管理情報の遷移の第2の例を示す図である。

【図12】コアに対するプロセスの割り当て例を示す図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本実施の形態について図面を参照して説明する。

〔第1の実施の形態〕

第1の実施の形態を説明する。

【0014】

図1は、第1の実施の形態の情報処理装置を説明する図である。

情報処理装置10は、メモリ11とプロセッサ12とを有する。メモリ11は、例えばRAM (Random Access Memory) などの揮発性記憶装置である。プロセッサ12は、CPU (Central Processing Unit)、DSP (Digital Signal Processor)、

50

GPU (Graphics Processing Unit) などを含み得る。プロセッサ 12 は、複数のプロセッサコアを有する。情報処理装置 10 は、複数のプロセッサを有してもよい。1つのプロセッサコアは、1つの時点では1つのプロセスが割り当てられる。1つのプロセッサコアは、時分割で、複数のプロセスが割り当てられる。

【0015】

メモリ 11 は、プロセスグループ情報 11 a、プロセス実行情報 11 b および指標計算結果情報 11 c を記憶する。プロセスグループ情報 11 a は、プロセスグループとプロセスグループに属するプロセスとを対応付ける情報である。プロセスグループは、プロセスのグループである。プロセスグループは、ジョブ、アプリケーション、仮想マシンまたはコンテナなどに対応する一群のプロセスに相当する。プロセスグループには1以上のプロセスが属する。

10

【0016】

プロセスグループは、例えば、情報処理装置 10 で実行されるオペレーティングシステムにより管理される。プロセスグループは、プロセスグループの識別情報であるプロセスグループ ID (Identifier) により識別される。プロセスグループ ID 「g n」のプロセスグループは、プロセスグループ g n と表記される。n は自然数である。プロセスは、プロセスの識別情報であるプロセス ID により識別される。プロセス ID 「p n」のプロセスは、プロセス p n と表記される。

【0017】

例えば、プロセスグループ情報 11 a は、プロセスグループ g 1 に、プロセス p 1, p 2 が属することを示す。また、プロセスグループ情報 11 a は、プロセスグループ g 2 に、プロセス p 3 が属することを示す。プロセスグループ情報 11 a は他のプロセスグループの情報も含み得る。プロセスグループ情報 11 a は、オペレーティングシステムにより生成される情報でもよいし、オペレーティングシステムから取得される情報でもよい。

20

【0018】

プロセス実行情報 11 b は、プロセスとプロセスの実行情報とを対応付ける情報である。プロセスの実行情報は、プロセスの実行時間とプロセスの実行に伴うプロセッサコア単位の消費エネルギーとを含む。プロセスの実行時間は、あるプロセッサコアによる該当のプロセスの直前の実行時間である。消費エネルギーは、プロセッサコアで消費されたエネルギーである。エネルギーの単位は、例えばジュール (J) である。

30

【0019】

指標計算結果情報 11 c は、プロセスグループごとの単位時間当たりの消費エネルギーの指標の計算結果を保持する情報である。当該指標は、プロセス実行情報 11 b に保持されるプロセスごとの実行情報に基づいてプロセッサ 12 により計算される。単位時間は1秒でもよい。すなわち、指標の単位は、ワット (W) (=ジュール毎秒 (J/s)) でもよい。指標の単位にワットを用いる場合、プロセスグループごとの単位時間当たりの消費エネルギーの指標は、プロセスグループごとの消費電力の指標となる。

【0020】

プロセッサ 12 は、プロセッサコア 12 a, 12 b, 12 c, 12 d を有する。プロセッサ 12 は、プロセッサコア 12 a ~ 12 d を用いて複数のプロセスを並列に実行する。プロセッサ 12 は、プロセッサコア 12 a ~ 12 d における動作周波数や電圧を個別に制御可能である。動作周波数の制御は、動作クロックの周波数の制御とも言える。プロセッサ 12 は、プロセッサコア 12 a ~ 12 d のうちの一部のプロセッサコアを用いて、下記に示すプロセッサコア 12 a ~ 12 d の動作制御を行う。ただし、プロセッサ 12 は、プロセッサコア 12 a ~ 12 d の動作制御を行うプロセッサコアを、プロセッサコア 12 a ~ 12 d とは別個に有してもよい。

40

【0021】

プロセッサ 12 は、第1プロセッサコアにより実行するプロセスを第1プロセスから第2プロセスに切り替える際に、第1プロセスの実行時間と当該実行時間の間の第1プロセッサコアの消費エネルギーとを取得する。プロセッサ 12 は、取得した実行時間と消費エ

50

エネルギーとを、第1プロセスのプロセスIDに対応付けて、プロセス実行情報11bに記録する。

【0022】

例えば、プロセッサ12は、プロセッサコア12cにより実行するプロセスをプロセスp1から他のプロセスに切り替える際に、プロセスp1の実行時間と当該実行時間の間のプロセッサコア12cの消費エネルギーとを取得する。プロセッサ12は、例えば、オペレーティングシステムが管理するプロセスの実行時間のタイマから、当該実行時間を取得してもよい。当該タイマは、プロセスp1を実行開始してから切り替えまでの実行時間を計測する。あるいは、プロセッサ12は、例えば、オペレーティングシステムが管理するプロセスの実行開始時刻と、当該プロセスを他のプロセスに切り替える時点の時刻との差分により、実行時間を求めてもよい。

10

【0023】

また、プロセッサ12は、プロセッサコアの消費エネルギーを、当該プロセッサコアが有する性能モニタリングカウンタから取得し得る。性能モニタリングカウンタは、該当のプロセッサコアで一定のエネルギーが消費された際に発生するイベントの発生回数をカウントする。プロセッサ12は、例えば、プロセスp1をプロセッサコア12cで実行開始する際にプロセッサコア12cの性能モニタリングカウンタのカウント値をリセットする。そして、プロセッサ12は、プロセッサコア12cで実行するプロセスをプロセスp1から他のプロセスに切り替える際に、プロセッサコア12cの性能モニタリングカウンタのカウント値を読み取り、当該カウント値に基づいて消費エネルギーを取得する。

20

【0024】

例えば、プロセッサ12は、プロセスp1に対して実行時間t1および消費エネルギーe1を取得し、プロセス実行情報11bに記録する。

プロセッサ12は、第1プロセスが属する第1プロセスグループに属する1以上のプロセスを特定する。例えば、プロセッサ12は、プロセスグループ情報11aに基づいて、プロセスp1が属するプロセスグループg1に属するプロセスp1, p2を特定する。

【0025】

プロセッサ12は、特定した1以上のプロセスに対して取得された実行時間と消費エネルギーとに基づいて、第1プロセスグループの実行に伴う単位時間当たりの消費エネルギーを示す指標を計算する。プロセッサ12は、計算した指標をプロセスグループIDに対応付けて、指標計算結果情報11cに記録する。

30

【0026】

当該指標は、例えば、該当のプロセスグループに属する各プロセスによる単位時間当たりの消費エネルギーの積算値（総和）である。あるいは、当該指標は、該当のプロセスグループに属する各プロセスの単位時間当たりの消費エネルギーの平均値でもよい。更に別の例として、当該指標は、該当のプロセスグループに属する各プロセスに対して記録された消費エネルギーの和を、該当のプロセスグループに属する各プロセスに対して記録された実行時間の和で割った値でもよい。

【0027】

例えば、プロセッサ12は、プロセス実行情報11bに記録されているプロセスp1, p2それぞれの実行時間t1, t2および消費エネルギーe1, e2に基づいて、プロセスグループg1に対する指標v1を計算する。プロセッサ12は、プロセスグループg1に対応付けて、指標計算結果情報11cに指標v1を記録する。

40

【0028】

プロセッサ12は、第1プロセスグループに属するプロセスを次に実行開始する際に、第1プロセスグループに対して計算した指標と閾値との比較に応じて、当該プロセスを割り当てるプロセッサコアの動作を制御する。例えば、プロセッサ12は、プロセスグループg1に属するプロセスp2を次に実行開始する際に、プロセスグループg1に対して計算した指標v1と閾値との比較に応じて、プロセスp2を割り当てるプロセッサコア12dの動作を制御する。閾値は、複数のプロセスグループに対して一律の値が定められても

50

よいし、複数のプロセスグループそれぞれに対して別個の値が定められてもよい。閾値は、メモリ 11 に予め格納される。

【0029】

プロセッサコアの動作の制御の例としては、プロセッサコアにおける動作周波数の変更および電圧の変更の少なくとも一方が考えられる。また、プロセッサコアの動作の制御は、プロセッサコアの消費電力を低減する制御でもよい。

【0030】

より具体的には、プロセッサ 12 は、例えば、プロセッサ 12 は、指標 v 1 が閾値よりも大きい場合に、プロセッサコア 12 d における動作周波数および電圧の少なくとも一方を下げることで、プロセッサコア 12 d による消費電力を低減させてもよい。あるいは、

10

プロセッサ 12 は、指標 v 1 が閾値よりも小さい場合に、プロセッサコア 12 d における動作周波数または電圧を上げることで、プロセッサコア 12 d による演算を高速化させてもよい。

【0031】

情報処理装置 10 によれば、第 1 プロセッサコアにより実行するプロセスを第 1 プロセスから第 2 プロセスに切り替える際に、第 1 プロセスの実行時間と実行時間の間の第 1 プロセッサコアの消費エネルギーとが取得される。複数のプロセスグループのうち、第 1 プロセスが属する第 1 プロセスグループに属する 1 以上のプロセスが特定される。特定した 1 以上のプロセスに対して取得された実行時間と消費エネルギーとに基づいて、第 1 プロセスグループの実行に伴う単位時間当たりの消費エネルギーを示す指標が計算される。第 1 プロセスグループに属するプロセスを次に実行開始する際に、第 1 プロセスグループに対して計算した指標と閾値との比較に応じて、当該プロセスを割り当てるプロセッサコアの動作が制御される。

20

【0032】

これにより、情報処理装置 10 は、プロセッサ 12 を効率的に利用可能にすることができる。

例えば、情報処理装置 10 は、あるプロセスグループのプロセスを実行するプロセッサコアと、他のプロセスグループのプロセスを実行する他のプロセッサコアとが同一プロセッサに存在する場合でも、各プロセスグループに対してプロセッサの動作制御を行える。

【0033】

30

また、上記のように、情報処理装置 10 は、各プロセッサコアの動作周波数や電圧を、プロセスグループに応じて個別に制御可能になる。

このため、例えば、情報処理装置 10 は、あるプロセスグループの演算による消費電力が過大になることを抑えたり、比較的消費電力が小さいプロセスグループに対する演算を高速化したりすることができる。あるいは、プロセスグループごとの閾値を調整することで、重要な、あるいは優先度の高いプロセスグループに比較的多くの電力資源を利用させるといった制御も可能になる。

【0034】

また、ジョブ、アプリケーション、仮想マシンまたはコンテナなどに対応するプロセスグループの単位は、ユーザに提供されるサービスの 1 単位として扱われることがある。このため、情報処理装置 10 は、プロセスグループ単位にプロセッサの動作制御を可能にすることで、電力効率やユーザのサービス利用時の消費電力に応じた課金額などを考慮した制御を行い易くすることができる。

40

【0035】

なお、第 1 の実施の形態では、プロセッサ 12 が複数のプロセッサコアを備える例を示したが、プロセッサ 12 が備えるプロセッサコアの数は 1 つでもよい。例えば、情報処理装置 10 は、シングルコアプロセッサを複数有してもよい。この場合も、情報処理装置 10 は、プロセスグループごとに、情報処理装置 10 が備える複数のプロセッサを効率的に利用可能にすることができる。

【0036】

50

〔第２の実施の形態〕

次に、第２の実施の形態を説明する。

図２は、第２の実施の形態の情報処理装置のハードウェア例を示す図である。

【００３７】

情報処理装置１００は、ＣＰＵ１０１、１０１ａ、…、ＲＡＭ１０２、ＨＤＤ１０３、ＧＰＵ（Graphics Processing Unit）１０４、入力インタフェース１０５、媒体リーダ１０６およびＮＩＣ（Network Interface Card）１０７を有する。なお、ＣＰＵ１０１、１０１ａ、…それぞれは、第１の実施の形態のプロセッサ１２の一例である。ＲＡＭ１０２は、第１の実施の形態のメモリ１１の一例である。情報処理装置１００は、コンピュータと呼ばれてもよい。

10

【００３８】

ＣＰＵ１０１、１０１ａ、…は、プログラムの命令を実行するプロセッサである。ＣＰＵ１０１、１０１ａ、…は、ＨＤＤ１０３に記憶されたプログラムやデータの少なくとも一部をＲＡＭ１０２にロードし、プログラムを実行する。ＣＰＵ１０１、１０１ａ、…は複数のプロセッサコアを含む。以下で説明する処理は複数のプロセッサまたはプロセッサコアを用いて並列に実行され得る。また、複数のプロセッサの集合を「マルチプロセッサ」または単に「プロセッサ」と言うことがある。

【００３９】

ＲＡＭ１０２は、ＣＰＵ１０１、１０１ａ、…が実行するプログラムやＣＰＵ１０１、１０１ａ、…が演算に用いるデータを一時的に記憶する揮発性の半導体メモリである。なお、情報処理装置１００は、ＲＡＭ以外の種類のメモリを備えてもよく、複数個のメモリを備えてもよい。

20

【００４０】

ＨＤＤ１０３は、ＯＳ（Operating System）やミドルウェアやアプリケーションソフトウェアなどのソフトウェアのプログラム、および、データを記憶する不揮発性の記憶装置である。なお、情報処理装置１００は、フラッシュメモリやＳＳＤ（Solid State Drive）などの他の種類の記憶装置を備えてもよく、複数の不揮発性の記憶装置を備えてもよい。

【００４１】

ＧＰＵ１０４は、ＣＰＵ１０１からの命令に従って、情報処理装置１００に接続されたディスプレイ５１に画像を出力する。ディスプレイ５１としては、ＣＲＴ（Cathode Ray Tube）ディスプレイ、液晶ディスプレイ（ＬＣＤ：Liquid Crystal Display）、プラズマディスプレイ、有機ＥＬ（ＯＥＬ：Organic Electro-Luminescence）ディスプレイなど、任意の種類のディスプレイを用いることができる。

30

【００４２】

入力インタフェース１０５は、情報処理装置１００に接続された入力デバイス５２から入力信号を取得し、ＣＰＵ１０１に出力する。入力デバイス５２としては、マウス、タッチパネル、タッチパッド、トラックボールなどのポインティングデバイス、キーボード、リモートコントローラ、ボタンスイッチなどを用いることができる。また、情報処理装置１００に、複数の種類の入力デバイスが接続されていてもよい。

40

【００４３】

媒体リーダ１０６は、記録媒体５３に記録されたプログラムやデータを読み取る読み取り装置である。記録媒体５３として、例えば、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク（ＭＯ：Magneto-Optical disk）、半導体メモリなどを使用できる。磁気ディスクには、フレキシブルディスク（ＦＤ：Flexible Disk）やＨＤＤが含まれる。光ディスクには、ＣＤ（Compact Disc）やＤＶＤ（Digital Versatile Disc）が含まれる。

【００４４】

媒体リーダ１０６は、例えば、記録媒体５３から読み取ったプログラムやデータを、ＲＡＭ１０２やＨＤＤ１０３などの他の記録媒体にコピーする。読み取られたプログラムは、例えば、ＣＰＵ１０１によって実行される。なお、記録媒体５３は可搬型記録媒体であ

50

ってもよく、プログラムやデータの配布に用いられることがある。また、記録媒体 53 や HDD 103 を、コンピュータ読み取り可能な記録媒体と言うことがある。

【0045】

NIC 107 は、ネットワーク 50 に接続され、ネットワーク 50 を介して他のコンピュータと通信を行うインタフェースである。NIC 107 は、例えば、スイッチやルータなどの通信装置とケーブルで接続される。NIC 107 は、無線通信インタフェースでもよい。

【0046】

図 3 は、CPU のハードウェア例を示す図である。

CPU 101 は、コア 110, 110a, … を有する。コア 110, 110a, … は、演算を行う演算回路である。CPU 101 は、コア 110, 110a, … を用いて、複数のプロセスを並列に実行する。コア 110, 110a, … それぞれは、プロセッサコアや CPU コアと呼ばれてもよい。例えば、1 つのコアが、第 1 プロセスを実行し、第 1 プロセスの実行を中断し、次に第 2 プロセスを実行する、というように、時分割で複数のプロセスを実行し得る。更に、当該コアまたは他のコアが、中断された第 1 プロセスの実行を再開することもある。

10

【0047】

コア 110 は、性能モニタリング機構 (PMU: Performance Monitoring Unit) 120 および周波数制御回路 130 を有する。コア 110a は、PMU 120a および周波数制御回路 130a を有する。

20

【0048】

PMU 120 は、コア 110 における各種のイベントの発生回数を計測する。PMU 120 が計測するイベントは、消費エネルギーに関するイベントを含む。具体的には、PMU 120 は、コア 110 における消費エネルギーが一定値に達するごとにイベントを発生させることが可能であり、当該イベントの発生回数を計数するカウンタを有する。

【0049】

周波数制御回路 130 は、コア 110 の動作周波数、すなわち、動作クロックの周波数を制御する。例えば、周波数制御回路 130 は、コア 110 の動作周波数を高くしたり、低くしたりする。

【0050】

PMU 120a は PMU 120 と同様の機能を有する。周波数制御回路 130a は周波数制御回路 130 と同様の機能を有する。また、コア 110, 110a 以外の他のコアも PMU および周波数制御回路を有する。

30

【0051】

CPU 101a を含む他の CPU も CPU 101 と同様に複数のコアを有する。

図 4 は、PMU のハードウェア例を示す図である。

PMU 120 は、カウンタ設定回路 121 および性能モニタリングカウンタ 122, 123, … を有する。

【0052】

カウンタ設定回路 121 は、性能モニタリングカウンタ 122, 123, … それぞれでカウントするイベントの識別情報を、性能モニタリングカウンタ 122, 123, … に設定する。

40

【0053】

性能モニタリングカウンタ 122, 123, … は、コア 110 において発生したイベントを計数するカウンタである。性能モニタリングカウンタ 122, 123, … それぞれは、計数対象のイベントの識別情報が設定される。性能モニタリングカウンタ 122, 123, … それぞれは、設定されたイベントの識別情報に対応するイベントの発生回数を計数する。性能モニタリングカウンタ 122, 123, … それぞれのカウント値は、当該イベントの発生回数に相当する。

【0054】

50

例えば、カウンタ設定回路121は、性能モニタリングカウンタ122に対し、計数対象のイベントとして、「消費エネルギー積算値」を設定する。この場合、性能モニタリングカウンタ122は、コア110で一定のエネルギーが消費されるたびに、カウント値Counter Value 1を1ずつ増やす。性能モニタリングカウンタ122のカウント値Counter Value 1は、消費エネルギー積算値に対応する値となる。性能モニタリングカウンタ122のカウント値は、コア110に割り当てられるプロセスの切り替え時に、0にリセットされる。

【0055】

カウンタ設定回路121は、性能モニタリングカウンタ123を含む他の性能モニタリングカウンタに他のイベントの識別情報を設定し、当該他のイベントの発生回数を計数させてもよい。

【0056】

図5は、情報処理装置の機能例を示す図である。

情報処理装置100は、管理情報記憶部140、OS150、仮想マシン160、160a、…およびコンテナ170、170a、…を有する。管理情報記憶部140には、RAM102やHDD103の記憶領域が用いられる。CPU101は、RAM102に記憶されたプログラムを実行することで、OS150、仮想マシン160、160a、…およびコンテナ170、170a、…の機能を発揮する。

【0057】

管理情報記憶部140は、管理情報を記憶する。管理情報は、OS150の処理に用いられるデータである。管理情報は、プロセス消費電力管理テーブル141およびプロセスグループ消費電力管理テーブル142を含む。プロセス消費電力管理テーブル141は、プロセスの実行に伴うコアの消費電力を保持するテーブルである。プロセスグループ消費電力管理テーブル142は、プロセスグループ単位のコアの単位時間における消費エネルギーの指標を保持するテーブルである。

【0058】

OS150は、情報処理装置100におけるハードウェアおよびソフトウェアの動作を制御する。OS150は、情報処理装置100のハードウェアリソースを用いて、仮想マシン160、160a、…およびコンテナ170、170a、…を動作させる。OS150は、仮想マシン160、160a、…およびコンテナ170、170a、…それぞれのプロセスを管理する。当該プロセスは、仮想マシン160、160a、…およびコンテナ170、170a、…それぞれに関して、OS150が管理する処理の実行単位である。

【0059】

OS150は、スケジューラ180を有する。スケジューラ180は、CPU101、101a、…それぞれの各コアに対するプロセスの割り当てや、各コアの動作周波数の制御を行う。スケジューラ180は、プロセス切り替え部181、消費エネルギー取得部182およびコア周波数制御部183を有する。

【0060】

プロセス切り替え部181は、仮想マシン160、160a、…およびコンテナ170、170a、…それぞれに含まれるプロセスを、各コアに割り当てる。プロセス切り替え部181は、各コアに割り当てるプロセスの切り替えを行う。

【0061】

ここで、仮想マシン160、160a、…およびコンテナ170、170a、…それぞれは、ユーザの処理要求の入力などに応じて実行される1以上のプロセスを有する。OS150は、仮想マシン160、160a、…およびコンテナ170、170a、…それぞれをプロセスグループとして管理する。

【0062】

プロセスグループに属するプロセスの数は、時間の経過に伴い増減する。例えば、あるタイミングにおいて、あるプロセスグループに属するプロセスが新たに生成されたり、別のタイミングにおいて当該プロセスグループに属するプロセスが消滅したりする。プロセ

10

20

30

40

50

ス切り替え部 181 は、1つのコアに対して、複数のプロセスを、時分割で割り当てる。

【0063】

消費エネルギー取得部 182 は、CPU 101, 101a, …それぞれに含まれる各コアの PMU の性能モニタリングカウンタを参照して、当該コアにおける消費エネルギー積算値に対応するカウント値を読み出す。消費エネルギー取得部 182 は、読み出したカウント値に基づいて、消費エネルギーを取得する。

【0064】

具体的には、消費エネルギー取得部 182 は、プロセス切り替え部 181 によるプロセス切り替え時に、当該プロセスの実行に伴うコアの消費エネルギーと当該プロセスの実行時間とを取得し、プロセス消費電力管理テーブル 141 に記録する。

【0065】

消費エネルギー取得部 182 は、プロセスの実行に伴うコアの消費エネルギーを、当該コアの PMU の性能モニタリングカウンタのカウント値に基づいて取得する。消費エネルギー取得部 182 は、当該コアにより次のプロセスの実行を開始する直前に、当該コアの PMU の性能モニタリングカウンタのカウント値をリセットする。消費エネルギー取得部 182 は、OS 150 により管理されるプロセスの実行時間を計測するタイマを参照して、当該プロセスの直前の実行時間とを取得する。消費エネルギー取得部 182 は、OS 150 により管理されるプロセスの前の実行開始時刻と、当該プロセスを他のプロセスに切り替える時点の時刻との差分により、実行時間を求めてもよい。

【0066】

また、消費エネルギー取得部 182 は、プロセス消費電力管理テーブル 141 に基づいて、プロセスグループ単位の単位時間当たりの消費エネルギーの指標を計算する。消費エネルギー取得部 182 は、計算した指標をプロセスグループ消費電力管理テーブル 142 に記録する。単位時間当たりの消費エネルギーの指標は、消費電力の指標でもよい。単位時間当たりの消費エネルギーの指標は、例えば平均消費電力である。単位時間当たりの消費エネルギーの指標は、平均消費電力量でもよい。平均消費電力量の単位は、ワット (W) と時間 (単位時間の長さ) の積となる。

【0067】

コア周波数制御部 183 は、プロセスグループ消費電力管理テーブル 142 に基づいて、CPU 101, 101a, …それぞれに含まれる各コアの動作を制御する。例えば、コア周波数制御部 183 は、消費エネルギーの指標が閾値以上であるプロセスグループに属するプロセスを割り当てるコアの消費電力を低減させる制御を行う。消費電力を低減させる制御は、例えば、該当のコアの動作周波数および電圧の少なくとも一方を低減させることである。

【0068】

仮想マシン 160, 160a, …それぞれは、情報処理装置 100 の OS 150 上で動作する仮想的なコンピュータである。情報処理装置 100 は、仮想マシンに対して、物理マシンと呼ばれてもよい。

【0069】

また、コンテナ 170, 170a, …それぞれは、1以上のプロセスの隔離された実行環境である。例えば、コンテナ型仮想化では、ソフトウェアの実行に用いられるライブラリなどの資源を纏めたコンテナが、ソフトウェアの実行環境として定義される。例えば、情報処理装置 100 は、OS 150 のカーネル上でコンテナを起動し、コンテナを用いてソフトウェアを実行する。

【0070】

図 6 は、プロセス消費電力管理テーブルの例を示す図である。

プロセス消費電力管理テーブル 141 は、管理情報記憶部 140 に記憶される。プロセス消費電力管理テーブル 141 は、プロセス ID、プロセスグループ ID、消費エネルギー、実行時間および平均消費電力の項目を含む。

【0071】

プロセスIDの項目には、プロセスIDが登録される。プロセスグループIDの項目には、該当のプロセスIDのプロセスが属するプロセスグループのプロセスグループIDが登録される。消費エネルギーの項目には、プロセスの実行に伴う消費エネルギーが登録される。消費エネルギーの単位は、例えば、ミリジュール（mJ）である。実行時間の項目には、プロセスの実行時間が登録される。プロセスの実行時間は、消費エネルギーのモニタリングが行われた時間に相当する。実行時間の単位は、例えば、ミリ秒（msec）である。平均消費電力の項目には、プロセスの実行に伴う平均消費電力が登録される。平均消費電力の単位は、例えば、ワット（W）である。平均消費電力は、（消費エネルギー／実行時間）で計算される。

【0072】

例えば、プロセス消費電力管理テーブル141は、プロセスID「100」、プロセスグループID「1」、消費エネルギー「240」、実行時間「100」、平均消費電力「2.4」のレコードを含む。このレコードは、プロセスID「100」のプロセスがプロセスグループID「1」のプロセスグループに属し、当該プロセスの消費エネルギーが240mJ、実行時間が100msecであり、平均消費電力が240（mJ）／100（msec）＝2.4Wであることを示す。

【0073】

プロセス消費電力管理テーブル141は、他のプロセスのレコードも登録される。プロセス消費電力管理テーブル141は、第1の実施の形態のプロセスグループ情報11aおよびプロセス実行情報11bの一例である。

【0074】

ここで、プロセスは生成されてから消滅するまでに、実行状態、実行可能状態および待ち状態という3つの状態を取り得る。すなわち、プロセスは、時系列に、実行、実行中断、実行、実行中断というように、実行が途中で中断されたり、実行が再開されたりする。これに対し、消費エネルギー取得部182は、同一のプロセスIDに対して、最新の実行時における消費エネルギー、実行時間および平均消費電力をプロセス消費電力管理テーブル141に記録する。このように、消費エネルギー取得部182は、各プロセスの実行に伴う単位時間の消費エネルギーの最新の値を保持してもよい。これにより、消費エネルギー取得部182は、後述のプロセスグループ単位の消費エネルギーの指標を、適切に得ることができる。各プロセスに対する古い消費エネルギーの情報は、現在の消費エネルギーとは異なる可能性が高いからである。

【0075】

消費エネルギー取得部182は、新たなプロセスが生成された場合に、プロセス消費電力管理テーブル141に該当のプロセスのレコードを追加する。消費エネルギー取得部182は、追加時におけるレコードに、プロセスID、プロセスグループIDの値を登録する。なお、消費エネルギー取得部182は、プロセスIDとプロセスグループIDとの対応関係を、OS150から取得する。消費エネルギー取得部182は、追加時におけるレコードの消費エネルギー、実行時間および平均消費電力の項目を、設定なしとする。消費エネルギー取得部182は、消費エネルギー、実行時間および平均消費電力の項目が設定なしのレコードを、プロセスグループ単位の消費エネルギーの指標の計算に用いない。また、消費エネルギー取得部182は、既存のプロセスが消滅する場合、プロセス消費電力管理テーブル141から該当のプロセスのレコードを削除する。

【0076】

更に、消費エネルギー取得部182は、直近の所定時間の間に実行されたプロセスの情報のみをプロセス消費電力管理テーブル141に保持してもよい。当該所定時間としては、5分間や10分間などが考えられる。このようにして、消費エネルギー取得部182は、各コアについて単位時間の消費エネルギーの最新の値を保持してもよい。これにより、消費エネルギー取得部182は、後述のプロセスグループ単位の消費エネルギーの指標を、適切に得ることができる。各プロセスに対する古い消費エネルギーの情報は、現在の消費エネルギーとは異なる可能性が高いからである。

10

20

30

40

50

【0077】

図7は、プロセスグループ消費電力管理テーブルの例を示す図である。

プロセスグループ消費電力管理テーブル142は、管理情報記憶部140に記憶される。プロセスグループ消費電力管理テーブル142は、プロセスグループID、プロセスIDリスト、平均消費電力および閾値の項目を含む。

【0078】

プロセスグループIDの項目には、プロセスグループIDが登録される。プロセスIDリストの項目には、該当のプロセスグループIDのプロセスグループに属するプロセスのプロセスIDのリスト、すなわち、プロセスIDリストが登録される。平均消費電力の項目には、プロセスグループIDに対して計算された平均消費電力が登録される。平均消費電力の単位は、例えば、ワット（W）である。閾値の項目には、該当のプロセスグループIDに対する閾値が登録される。閾値の単位は、例えば、ワット（W）である。

10

【0079】

ここで、消費エネルギー取得部182は、あるプロセスグループに関して、プロセス消費電力管理テーブル141に記録されているプロセスの平均消費電力の総和を、プロセスグループ単位の平均消費電力とする。

【0080】

例えば、プロセスグループID「1」のプロセスグループにはプロセスID「100」のプロセスおよびプロセスID「101」のプロセスが属する。プロセス消費電力管理テーブル141によれば、プロセスID「100」のプロセスの平均消費電力は2.4Wである。また、プロセスID「101」のプロセスの平均消費電力は2.5Wである。よって、消費エネルギー取得部182は、プロセス消費電力管理テーブル141に対して、プロセスグループID「1」の平均消費電力を $2.4 + 2.5 = 4.9$ Wと計算する。

20

【0081】

例えば、プロセスグループ消費電力管理テーブル142は、プロセスグループID「1」、プロセスIDリスト「100, 101」、平均消費電力「4.9」、閾値「5」のレコードを含む。このレコードは、プロセスグループID「1」のプロセスグループには、プロセスID「100」のプロセスとプロセスID「101」のプロセスとが属することを示す。また、当該レコードは、当該プロセスグループの平均消費電力が4.9Wであり、閾値が5Wであることを示す。

30

【0082】

プロセスグループ消費電力管理テーブル142には、他のプロセスグループのレコードも登録される。プロセスグループ消費電力管理テーブル142は、第1の実施の形態の指標計算結果情報11cの一例である。

【0083】

次に、情報処理装置100の処理手順を説明する。情報処理装置100は、あるコアにより実行していたプロセスを他のプロセスに切り替える際に、次の手順を実行する。切り替え元のプロセスは、切り替え元プロセスと表記される。切り替え先のプロセスは、切り替え先プロセスと表記される。

【0084】

一例として、プロセス切り替え部181がコア110に対するプロセス切り替えを行う場合を例示する。情報処理装置100は、他のコアに対するプロセス切り替えを行う場合も、他のコアに対して下記と同様の手順を実行する。

40

【0085】

図8は、切り替え元プロセス管理処理の例を示すフローチャートである。

（S10）消費エネルギー取得部182は、PMU120の性能モニタリングカウンタ122のカウント値を読み出し、プロセス実行時の消費エネルギーを取得し、プロセス消費電力管理テーブル141に記録する。前述のように、PMU120の性能モニタリングカウンタ122は、コア110により一定のエネルギーE（J）が消費されたというイベントの発生回数Cを計数する。したがって、消費エネルギー取得部182は、EとCとの

50

積により、切り替え元プロセスの実行に伴う消費エネルギーを得ることができる。なお、消費エネルギー取得部 182 は、切り替え元プロセスのプロセス ID と、切り替え元プロセスを実行していたコア 110 の情報をプロセス切り替え部 181 から取得することで、切り替え元プロセスと切り替え元プロセスを実行していたコア 110 を特定する。消費エネルギー取得部 182 は、カウント値を読み出した後、性能モニタリングカウンタ 122 のカウント値を 0 にリセットする。

【0086】

(S11) 消費エネルギー取得部 182 は、タイマを読み出し、プロセスの実行時間を取得し、プロセス消費電力管理テーブル 141 に記録する。例えば、消費エネルギー取得部 182 は、OS 150 が管理するタイマに基づいて、切り替え元プロセスの実行時間を取得する。消費エネルギー取得部 182 は、OS 150 により管理されるプロセスの前の実行開始時刻と、当該プロセスを他のプロセスに切り替える時点の時刻との差分により、実行時間を求めてもよい。

【0087】

(S12) 消費エネルギー取得部 182 は、ステップ S10 で記録した消費エネルギーと、ステップ S11 で記録した実行時間とから、プロセスの平均消費電力を算出し、プロセス消費電力管理テーブル 141 に記録する。消費エネルギー取得部 182 は、消費エネルギー／実行時間を、切り替え元プロセスの平均消費電力として計算する。

【0088】

(S13) 消費エネルギー取得部 182 は、プロセスグループ消費電力管理テーブル 142 の平均消費電力を更新する。具体的には、消費エネルギー取得部 182 は、プロセス消費電力管理テーブル 141 に基づいて、ステップ S12 で平均消費電力を記録したプロセスが属するプロセスグループを特定する。消費エネルギー取得部 182 は、特定したプロセスグループに対し、プロセス消費電力管理テーブル 141 に基づいて平均消費電力を計算し、プロセスグループ消費電力管理テーブル 142 に記録する。一例では、消費エネルギー取得部 182 は、あるプロセスグループに関して、プロセス消費電力管理テーブル 141 に記録されている当該プロセスグループに属するプロセスの平均消費電力の総和を、プロセスグループ単位の平均消費電力とする。そして、消費エネルギー取得部 182 は、切り替え元プロセス管理処理を終了する。

【0089】

図 9 は、切り替え先プロセス管理処理の例を示すフローチャートである。

(S20) コア周波数制御部 183 は、プロセスグループ消費電力管理テーブル 142 から切り替え先プロセスが属するプロセスグループの平均消費電力と閾値とを読み出す。なお、コア周波数制御部 183 は、切り替え先プロセスのプロセス ID と、切り替え先プロセスが割り当てられるコア 110 の情報をプロセス切り替え部 181 から取得することで、切り替え先プロセスと切り替え先プロセスが割り当てられるコア 110 を特定する。

【0090】

(S21) コア周波数制御部 183 は、ステップ S20 で読み出した平均消費電力が、ステップ S20 で読み出した閾値以上であるか否かを判定する。平均消費電力が閾値以上の場合、コア周波数制御部 183 は、ステップ S22 に処理を進める。平均消費電力が閾値未満の場合、コア周波数制御部 183 は、ステップ S23 に処理を進める。

【0091】

(S22) コア周波数制御部 183 は、コア 110 のコア周波数を低減させる。具体的には、コア周波数制御部 183 は、通常の動作周波数よりも低い動作周波数での動作を周波数制御回路 130a に指示する。周波数制御回路 130a は、当該指示を受け付けると、コア 110 の動作周波数を通常の動作周波数よりも低くする。そして、コア周波数制御部 183 は、ステップ S24 に処理を進める。

【0092】

(S23) コア周波数制御部 183 は、コア 110 を通常のコア周波数に設定する。具体的には、コア周波数制御部 183 は、通常の動作周波数での動作を周波数制御回路 13

10

20

30

40

50

0 aに指示する。周波数制御回路130 aは、当該指示を受け付けると、コア110の動作周波数を通常の動作周波数とする。そして、コア周波数制御部183は、ステップS24に処理を進める。

【0093】

(S24) プロセス切り替え部181は、コア110による切り替え先プロセスの実行を開始させる。コア110は、プロセス切り替え部181により割り当てられたプロセスを実行する。そして、プロセス切り替え部181は、切り替え先プロセス管理処理を終了する。

【0094】

なお、切り替え先プロセス管理処理は、プロセス切り替え時、消費エネルギー取得部182によるプロセスグループ消費電力管理テーブル142の更新後に、実行されてもよい。あるいは、切り替え先プロセス管理処理は、プロセス切り替え時、消費エネルギー取得部182によるプロセスグループ消費電力管理テーブル142の更新前に、実行されてもよい。

【0095】

また、コア周波数制御部183は、ステップS22の動作周波数の低減により、コア110の消費電力を低減させることができる。コア周波数制御部183は、動作周波数の低減に代えて、または、動作周波数の低減と併せて、コア110に供給する電圧を通常の電圧よりも低減させることで、コア110の消費電力を低減させてもよい。

【0096】

次に、プロセス切り替えに伴う管理情報の具体的な遷移例を説明する。以下では、切り替え先プロセス管理処理が、プロセス切り替え時、消費エネルギー取得部182によるプロセスグループ消費電力管理テーブル142の更新後に、実行される例を示す。

【0097】

図10は、管理情報の遷移の第1の例を示す図である。

プロセス切り替え部181は、プロセス切り替えにより、コア110で実行されていたプロセスID「100」のプロセスの実行を中断させ、プロセスID「101」のプロセスをコア110に実行させるものとする。すなわち、切り替え元プロセスは、プロセスID「100」のプロセスである。切り替え先プロセスは、プロセスID「101」のプロセスである。

【0098】

例えば、消費エネルギー取得部182は、プロセスID「100」のプロセスに関して、消費エネルギー260 mJ、実行時間100 msを取得する。この場合、消費エネルギー取得部182は、プロセスID「100」に対応付けて、消費エネルギー260 mJおよび実行時間100 msを、プロセス消費電力管理テーブル141に記録する。また、消費エネルギー取得部182は、プロセスID「100」に対して、平均消費電力 $260 / 100 = 2.6$ Wを、プロセス消費電力管理テーブル141に記録する。これにより、消費エネルギー取得部182は、プロセス消費電力管理テーブル141を、プロセス消費電力管理テーブル141 aに更新する。

【0099】

消費エネルギー取得部182は、プロセス消費電力管理テーブル141 aにおけるプロセスID「100」のレコードの更新に応じて、当該プロセスID「100」のプロセスが属するプロセスグループ単位の平均消費電力を更新する。

【0100】

具体的には、消費エネルギー取得部182は、プロセス消費電力管理テーブル141 aに基づいて、プロセスID「100」のプロセスが属するプロセスグループのプロセスグループID「1」を特定する。そして、消費エネルギー取得部182は、プロセス消費電力管理テーブル141 aに基づいて、プロセスグループID「1」のプロセスグループに属するプロセスのプロセスID「100」、「101」を特定する。

【0101】

10

20

30

40

50

そして、消費エネルギー取得部 182 は、プロセス消費電力管理テーブル 141a に記録されているプロセス ID「100」、「101」それぞれに対応する平均消費電力の和 $2.6 + 2.5 = 5.1W$ を求める。消費エネルギー取得部 182 は、プロセスグループ ID「1」に対して、プロセス ID リスト「100, 101」と平均消費電力 $5.1W$ とを、プロセスグループ消費電力管理テーブル 142 に記録する。これにより、消費エネルギー取得部 182 は、プロセスグループ消費電力管理テーブル 142 を、プロセスグループ消費電力管理テーブル 142a に更新する。

【0102】

コア周波数制御部 183 は、プロセスグループ消費電力管理テーブル 142a に基づいて、切り替え先プロセスのプロセス ID「101」に対し、当該切り替え先プロセスが属するプロセスグループのプロセスグループ ID「1」を特定する。コア周波数制御部 183 は、プロセスグループ消費電力管理テーブル 142a のプロセスグループ ID「1」のレコードを参照して、平均消費電力 $5.1W$ と閾値 $5W$ とを取得する。コア周波数制御部 183 は、平均消費電力 $5.1W$ と閾値 $5W$ とを比較し、平均消費電力 $5.1W$ が、閾値 $5W$ 以上であると判定する。すると、コア周波数制御部 183 は、コア 110 の動作周波数を通常の動作周波数よりも低減させる設定を行う。その後、プロセス切り替え部 181 は、プロセス ID「101」の切り替え先プロセスをコア 110 により実行開始させる。コア 110 は、通常の動作周波数よりも低い動作周波数で、プロセス ID「101」のプロセスを実行する。

【0103】

図 11 は、管理情報の遷移の第 2 の例を示す図である。

上記に続いて、プロセス切り替え部 181 は、プロセス切り替えにより、コア 110 で実行されていたプロセス ID「101」のプロセスの実行を中断させ、プロセス ID「100」のプロセスをコア 110 に実行させるものとする。すなわち、切り替え元プロセスは、プロセス ID「101」のプロセスである。切り替え先プロセスは、プロセス ID「100」のプロセスである。

【0104】

例えば、消費エネルギー取得部 182 は、プロセス ID「101」のプロセスに関して、消費エネルギー $230mJ$ 、実行時間 $100ms$ を取得する。この場合、消費エネルギー取得部 182 は、プロセス ID「101」に対応付けて、消費エネルギー $230mJ$ および実行時間 $100ms$ を、プロセス消費電力管理テーブル 141a に記録する。また、消費エネルギー取得部 182 は、プロセス ID「101」に対して、平均消費電力 $230 / 100 = 2.3W$ を、プロセス消費電力管理テーブル 141a に記録する。これにより、消費エネルギー取得部 182 は、プロセス消費電力管理テーブル 141a を、プロセス消費電力管理テーブル 141b に更新する。

【0105】

消費エネルギー取得部 182 は、プロセス消費電力管理テーブル 141b におけるプロセス ID「101」のレコードの更新に応じて、当該プロセス ID「101」のプロセスが属するプロセスグループ単位の平均消費電力を更新する。

【0106】

具体的には、消費エネルギー取得部 182 は、プロセス消費電力管理テーブル 141b に基づいて、プロセス ID「101」のプロセスが属するプロセスグループのプロセスグループ ID「1」を特定する。そして、消費エネルギー取得部 182 は、プロセス消費電力管理テーブル 141b に基づいて、プロセスグループ ID「1」のプロセスグループに属するプロセスのプロセス ID「100」、「101」を特定する。

【0107】

そして、消費エネルギー取得部 182 は、プロセス消費電力管理テーブル 141b に記録されているプロセス ID「100」、「101」それぞれに対応する平均消費電力の和 $2.6 + 2.3 = 4.9W$ を求める。消費エネルギー取得部 182 は、プロセスグループ ID「1」に対して、プロセス ID リスト「100, 101」と平均消費電力 $4.9W$ と

を、プロセスグループ消費電力管理テーブル 1 4 2 a に記録する。これにより、消費エネルギー取得部 1 8 2 は、プロセスグループ消費電力管理テーブル 1 4 2 a を、プロセスグループ消費電力管理テーブル 1 4 2 b に更新する。

【0 1 0 8】

コア周波数制御部 1 8 3 は、プロセスグループ消費電力管理テーブル 1 4 2 b に基づいて、切り替え先プロセスのプロセス ID「1 0 0」に対し、当該切り替え先プロセスが属するプロセスグループのプロセスグループ ID「1」を特定する。コア周波数制御部 1 8 3 は、プロセスグループ消費電力管理テーブル 1 4 2 b のプロセスグループ ID「1」のレコードを参照して、平均消費電力 4.9 W と閾値 5 W とを取得する。コア周波数制御部 1 8 3 は、平均消費電力 4.9 W と閾値 5 W とを比較し、平均消費電力 4.9 W が、閾値 5 W より小さいと判定する。すると、コア周波数制御部 1 8 3 は、コア 1 1 0 の動作周波数を通常の動作周波数とする設定を行う。その後、プロセス切り替え部 1 8 1 は、プロセス ID「1 0 0」の切り替え先プロセスをコア 1 1 0 により実行開始させる。コア 1 1 0 は、通常の動作周波数で、プロセス ID「1 0 0」のプロセスを実行する。

10

【0 1 0 9】

このように、コア周波数制御部 1 8 3 は、プロセスグループ単位の消費エネルギーの指標に基づいて、コアの動作周波数を制御する。

ところで、図 1 0, 1 1 の例では、同一のプロセスグループに属する複数のプロセスがコア 1 1 0 に時分割で割り当てられる場合を例示したが、プロセス切り替え部 1 8 1 は、各コアに対してプロセスを柔軟に割り当てることができる。

20

【0 1 1 0】

図 1 2 は、コアに対するプロセスの割り当て例を示す図である。

例えば、CPU 1 0 1 は、コア 1 1 0, 1 1 0 a に加えて、コア 1 1 0 b, 1 1 0 c を有する。CPU 1 0 1 a は、コア 1 1 0 d, 1 1 0 e, 1 1 0 f, 1 1 0 g を有する。また、プロセス 1 6 1, 1 6 2, 1 6 3, … は、仮想マシン 1 6 0 に属する。プロセス 1 6 1 a, 1 6 2 a, 1 6 3 a, … は、仮想マシン 1 6 0 a に属する。プロセス 1 7 1, 1 7 2, 1 7 3, … は、コンテナ 1 7 0 に属する。仮想マシン 1 6 0, 1 6 0 a およびコンテナ 1 7 0 それぞれは、1 つのプロセスグループに相当する。

【0 1 1 1】

例えば、ある時点において、コア 1 1 0 ~ 1 1 0 g は、仮想マシン 1 6 0, 1 6 0 a およびコンテナ 1 7 0 それぞれに属する次のプロセスを実行する。コア 1 1 0 は、プロセス 1 6 1 を実行する。コア 1 1 0 a は、プロセス 1 6 2 を実行する。コア 1 1 0 b は、プロセス 1 6 3 を実行する。コア 1 1 0 c は、プロセス 1 6 1 a を実行する。コア 1 1 0 d は、プロセス 1 6 2 a を実行する。コア 1 1 0 e は、プロセス 1 7 1 を実行する。コア 1 1 0 f は、プロセス 1 7 2 を実行する。コア 1 1 0 g は、プロセス 1 7 3 を実行する。当該時点において、プロセス 1 6 3 a は、何れのコアにも割り当てられておらず、実行が中断された状態である。

30

【0 1 1 2】

このように、プロセス切り替え部 1 8 1 は、同一のプロセスグループに属する 2 つのプロセスをそれぞれ異なるコアに割り当てることがもある。また、プロセス切り替え部 1 8 1 は、それぞれ異なるプロセスグループに属する 2 つのプロセスを、同一のコアに割り当てることがもある。

40

【0 1 1 3】

情報処理装置 1 0 0 は、プロセスグループに対して、コアごとに動作周波数や電圧を変更する。このため、情報処理装置 1 0 0 は、プロセスグループに対して、CPU 1 0 1, 1 0 1 a, … の動作を詳細に制御することができる。

【0 1 1 4】

例えば、情報処理装置 1 0 0 は、あるプロセスグループのプロセスを実行するコアと、他のプロセスグループのプロセスを実行する他のコアとが同一 CPU に存在する場合でも、各プロセスグループに対して CPU の動作制御を行える。より具体的には、上記のよう

50

に、情報処理装置 100 は、各コアの動作周波数や電圧を、プロセスグループに応じて個別に制御可能になる。

【0115】

このため、例えば、情報処理装置 100 は、あるプロセスグループの演算による消費電力が過大になることを抑えたり、比較的消費電力が小さいプロセスグループに対する演算を高速化したりすることができる。あるいは、プロセスグループごとの閾値を調整することで、重要な、あるいは優先度の高いプロセスグループに比較的多くの電力資源を利用させるといった制御も可能になる。

【0116】

また、ジョブ、アプリケーション、仮想マシンまたはコンテナなどに対応するプロセスグループの単位は、ユーザに提供されるサービスの 1 単位として扱われることがある。このため、情報処理装置 100 は、プロセスグループ単位に CPU の動作制御を可能にすることで、電力効率やユーザのサービス利用時の消費電力に応じた課金などを考慮した制御を行い易くすることができる。

【0117】

なお、第 2 の実施の形態では、CPU 101, 101a, …それぞれが複数のコアを備える例を示したが、各 CPU が備えるコアの数は 1 つでもよい。例えば、情報処理装置 100 は、シングルコアプロセッサを複数有してもよい。この場合も、情報処理装置 100 は、プロセスグループごとに、情報処理装置 100 が備える複数の CPU を効率的に利用可能にすることができる。

【0118】

また、消費エネルギー取得部 182 は、プロセスグループ単位の消費エネルギーの指標として、当該プロセスグループに属するプロセスの平均消費電力の総和（積算値）を求めるものとしたが、他の計算により当該指標を求めてもよい。

【0119】

例えば、消費エネルギー取得部 182 は、該当のプロセスグループに属する各プロセスの単位時間当たりの消費エネルギーの平均値を当該指標としてもよい。一例として、消費エネルギー取得部 182 は、図 11 のプロセス消費電力管理テーブル 141b に対し、プロセスグループ ID「1」の消費エネルギーの指標を、 $(2.6 + 2.3) / 2 = 2.45 \text{ W}$ としてもよい。この場合、当該計算方法に応じた閾値がプロセスグループ消費電力管理テーブル 142b に予め設定される。

【0120】

更に別の例として、消費エネルギー取得部 182 は、該当のプロセスグループに属する各プロセスに対して記録された消費エネルギーの和を、該当のプロセスグループに属する各プロセスに対して記録された実行時間の和で割った値を当該指標としてもよい。一例として、消費エネルギー取得部 182 は、図 11 のプロセス消費電力管理テーブル 141b に対し、プロセスグループ ID「1」の消費エネルギーの指標を、 $(260 + 230) / (100 + 100) = 2.45 \text{ W}$ としてもよい。この場合も、当該計算方法に応じた閾値がプロセスグループ消費電力管理テーブル 142b に予め設定される。

【0121】

消費エネルギー取得部 182 は、プロセスグループに属する複数のプロセスが同時に実行されたか否かに応じて、指標の計算方法を変えてもよい。例えば、消費エネルギー取得部 182 は、同一プロセスグループに属する複数のプロセスが同時に実行された場合は、各プロセスの平均消費電力の和を指標とし、当該複数のプロセスが同時に実行されていない場合は、上記の他の計算方法を用いることも考えられる。

【0122】

例えば、情報処理装置 100 は、次の処理を実行する。

消費エネルギー取得部 182 は、複数のプロセッサコアのうちの第 1 プロセッサコアにより実行するプロセスを第 1 プロセスから第 2 プロセスに切り替える際に、第 1 プロセスの実行時間と実行時間の間の第 1 プロセッサコアの消費エネルギーとを取得する。消費エ

10

20

30

40

50

エネルギー取得部 182 は、それぞれがプロセスのグループである複数のプロセスグループのうち、第 1 プロセスが属する第 1 プロセスグループに属する、現存する 1 以上のプロセスを特定する。消費エネルギー取得部 182 は、特定した当該 1 以上のプロセスに対して取得された実行時間と消費エネルギーとに基づいて、第 1 プロセスグループの実行に伴う単位時間当たりの消費エネルギーを示す指標を計算する。コア周波数制御部 183 は、第 1 プロセスグループに属するプロセスを次に実行開始する際に、第 1 プロセスグループに対して計算した指標と閾値との比較に応じて、当該プロセスを割り当てるプロセッサコアの動作を制御する。

【0123】

これにより、情報処理装置 100 は、プロセッサを効率的に利用可能になる。CPU 101, 101a, …それぞれは、プロセッサの一例である。コア 110, 110a, …それぞれは、プロセッサコアの一例である。仮想マシン 160, 160a, …およびコンテナ 170, 170a, …それぞれは、プロセスグループの一例である。プロセスグループは、ジョブまたはアプリケーションなどの単位でもよい。

【0124】

ここで、第 1 プロセスグループに属する、現存する 1 以上のプロセスは、例えばオペレーティングシステムが現在管理しているプロセスであり、第 1 プロセスグループにおいて同時に実行されている 1 以上のプロセスでもよい。また、当該 1 以上のプロセスは、現在存在しているが実行が中断されているプロセス（実行待ちのプロセス）を含んでもよい。

【0125】

コア周波数制御部 183 は、プロセッサコアの動作の制御では、プロセッサコアの動作周波数および電圧の少なくとも一方を制御する。

これにより、情報処理装置 100 は、プロセッサコアの省電力化を図ったり、演算の高速化を図ったりすることができる。

【0126】

コア周波数制御部 183 は、プロセッサコアの動作の制御では、指標が閾値以上の場合に、プロセッサコアの動作周波数および電圧の少なくとも一方を低減させる。

これにより、情報処理装置 100 は、プロセッサコアの消費電力を低減させ、省電力化を図れる。

【0127】

あるいは、コア周波数制御部 183 は、プロセッサコアの動作の制御では、指標が閾値以下の場合に、プロセッサコアの動作周波数を増加させる制御を行ってもよい。これにより、情報処理装置 100 は、比較的消費電力が小さいと推定されるプロセスグループに対してより大きな電力資源を割り当てて、演算を高速化することができる。

【0128】

また、消費エネルギー取得部 182 は、上記指標の計算では、第 1 プロセスグループに属する 1 以上のプロセスに対して取得された実行時間と消費エネルギーとに基づいて、当該 1 以上のプロセスそれぞれの実行時における単位時間当たりのプロセッサコアの消費エネルギーを算出してもよい。そして、消費エネルギー取得部 182 は、当該 1 以上のプロセスそれぞれの実行時における単位時間当たりの消費エネルギーの積算値（総和）を、上記指標として算出してもよい。

【0129】

これにより、情報処理装置 100 は、プロセスグループ単位の消費エネルギーの指標を適切に求めることができる。

あるいは、消費エネルギー取得部 182 は、第 1 プロセスグループに属する 1 以上のプロセスに対して取得された実行時間と消費エネルギーとに基づいて、当該 1 以上のプロセスそれぞれの実行時における単位時間当たりのプロセッサコアの消費エネルギーの平均値を、上記指標として算出してもよい。

【0130】

このようにしても、情報処理装置 100 は、プロセスグループ単位の消費エネルギーの

10

20

30

40

50

指標を適切に求めることができる。

また、消費エネルギー取得部 182 は、第 1 プロセッサコアの消費エネルギーの取得では、第 1 プロセッサコアが備えるカウンタにより計数されたイベントの発生回数を読み出し、読み出したイベントの発生回数に基づいて消費エネルギーを取得してもよい。当該カウンタは、第 1 プロセッサコアにより消費されたエネルギーに応じたイベントの発生回数を計数する。また、消費エネルギー取得部 182 は、カウンタからイベントの発生回数を読み出した後、当該カウンタを 0 にリセットする。

【0131】

これにより、情報処理装置 100 は、第 1 プロセスの実行に伴う第 1 プロセッサコアによる消費エネルギーを適切に取得できる。例えば、プロセッサコアが備えるカウンタは、プロセッサコア単位の、比較的細かな消費エネルギーに応じたイベントを計数する。このため、情報処理装置 100 は、プロセッサコア単位のプロセスの実行に伴う消費エネルギーを精度良く取得できる。カウンタを 0 にリセットすることは、カウンタによるイベントの発生回数のカウント値を 0 に設定することに相当する。性能モニタリングカウンタ 122 は、上記カウンタの一例である。

【0132】

コア周波数制御部 183 は、上記指標と閾値との比較では、複数のプロセスグループそれぞれに対応する閾値を保持するメモリから第 1 プロセスグループに対応する閾値を取得し、取得した閾値と指標とを比較してもよい。

【0133】

これにより、情報処理装置 100 は、プロセッサコアの動作制御を行う指標の基準値（閾値）をプロセスグループに応じて変えることができる。例えば、情報処理装置 100 は、プロセスグループの重要度または優先度などに応じたプロセッサコアの動作制御や、各プロセスグループに対応するユーザの課金額などに応じたプロセッサコアの動作制御が可能になる。例えば、情報処理装置 100 は、プロセスグループの重要度または優先度が高いほど、当該プロセスグループに対応する閾値を高くしてもよい。また、例えば、情報処理装置 100 は、ユーザの課金額が多いほど、当該ユーザが利用するプロセスグループに対応する閾値を高くしてもよい。なお、RAM 102 は、上記メモリの一例である。閾値を保持するメモリは、HDD 103 や SSD などにより実現されてもよい。

【0134】

また、複数のプロセッサコアは、情報処理装置 100 における 1 または複数のプロセッサに含まれる。例えば、情報処理装置 100 は、1 つのマルチコアプロセッサを有してもよいし、複数のマルチコアプロセッサを有してもよい。また、情報処理装置 100 は、複数のシングルコアプロセッサを有してもよい。

【0135】

このように、情報処理装置 100 は、種々のプロセッサ構成に対して、プロセッサを効率的に利用可能になる。

なお、第 1 の実施の形態の情報処理は、プロセッサ 12 にプログラムを実行させることで実現できる。また、第 2 の実施の形態の情報処理は、CPU 101, 101a, … にプログラムを実行させることで実現できる。プログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体 53 に記録できる。

【0136】

例えば、プログラムを記録した記録媒体 53 を配布することで、プログラムを流通させることができる。また、プログラムを他のコンピュータに格納しておき、ネットワーク経由でプログラムを配布してもよい。コンピュータは、例えば、記録媒体 53 に記録されたプログラムまたは他のコンピュータから受信したプログラムを、RAM 102 や HDD 103 などの記憶装置に格納し（インストールし）、当該記憶装置からプログラムを読み込んで実行してもよい。

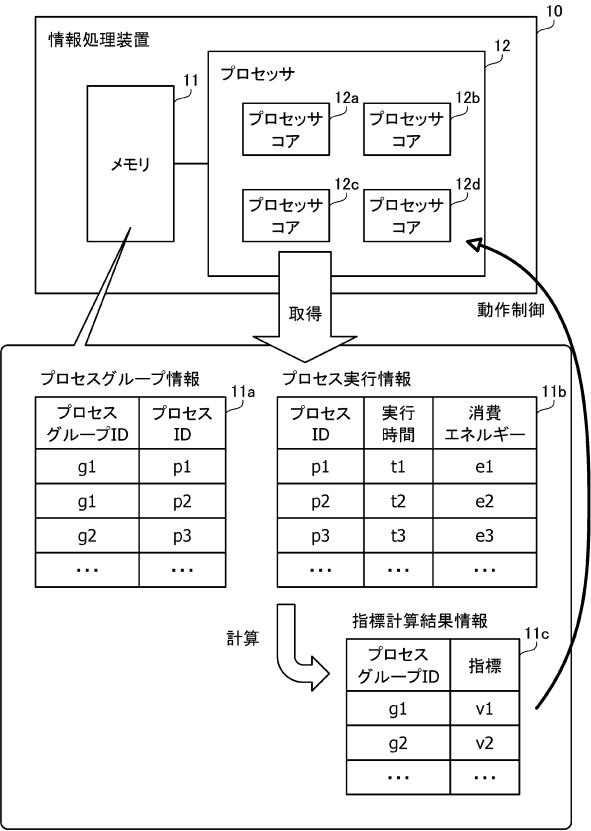
【符号の説明】

【0137】

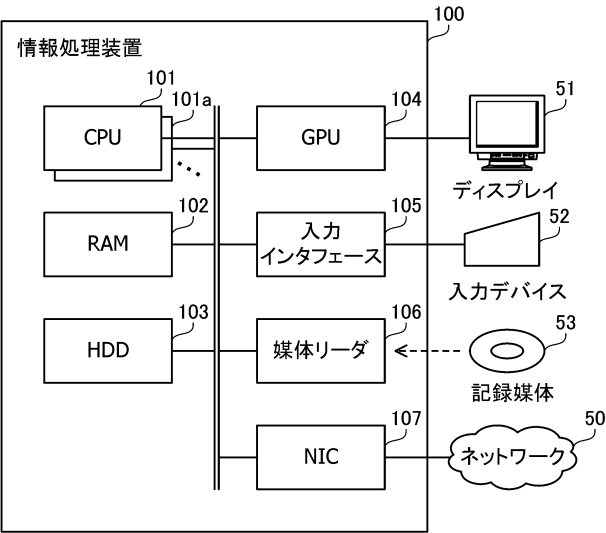
- 1 0 情報処理装置
- 1 1 メモリ
- 1 1 a プロセスグループ情報
- 1 1 b プロセス実行情報
- 1 1 c 指標計算結果情報
- 1 2 プロセッサ
- 1 2 a , 1 2 b , 1 2 c , 1 2 d プロセッサコア

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

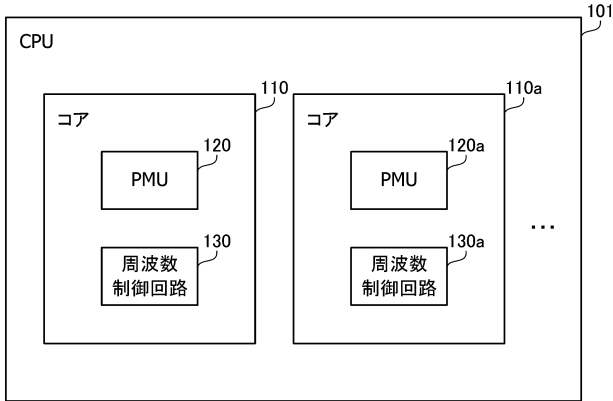
20

30

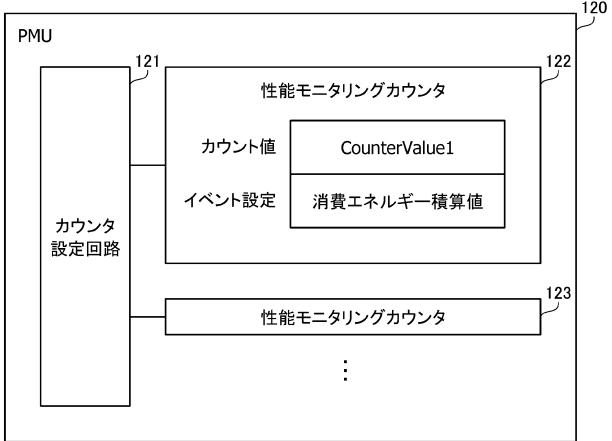
40

50

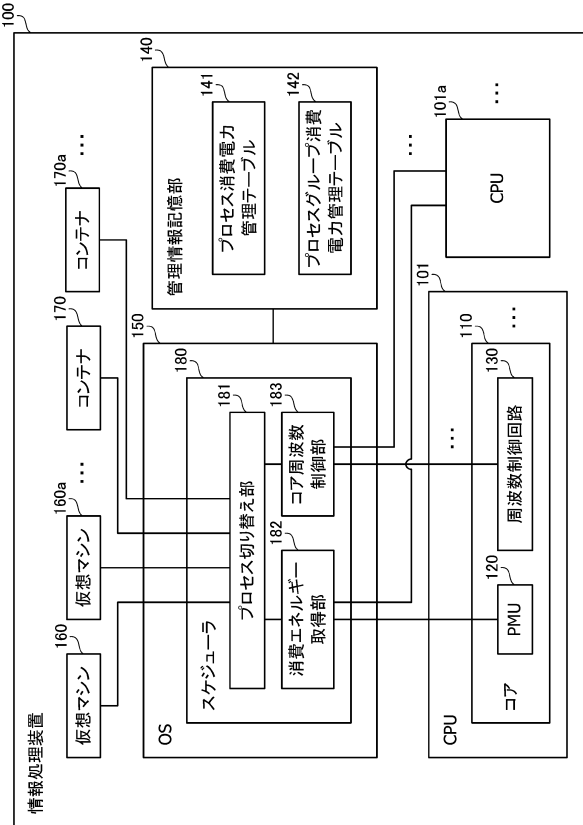
【図 3】



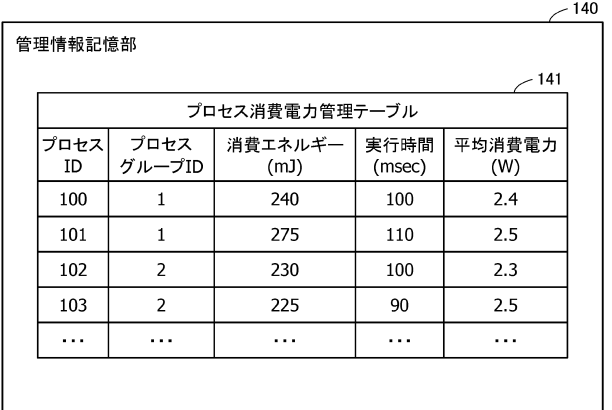
【図 4】



【図 5】



【図 6】



10

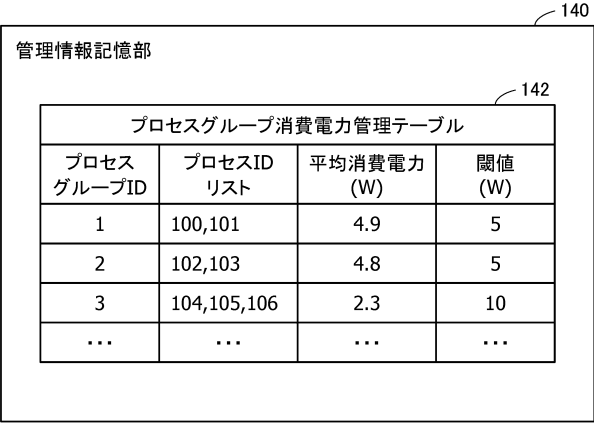
20

30

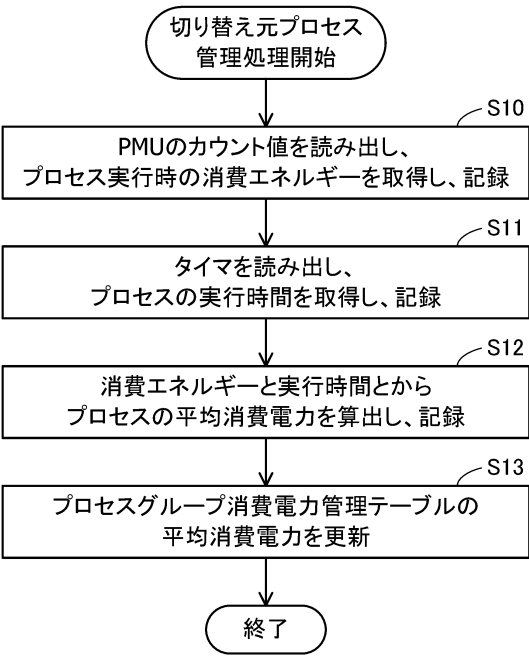
40

50

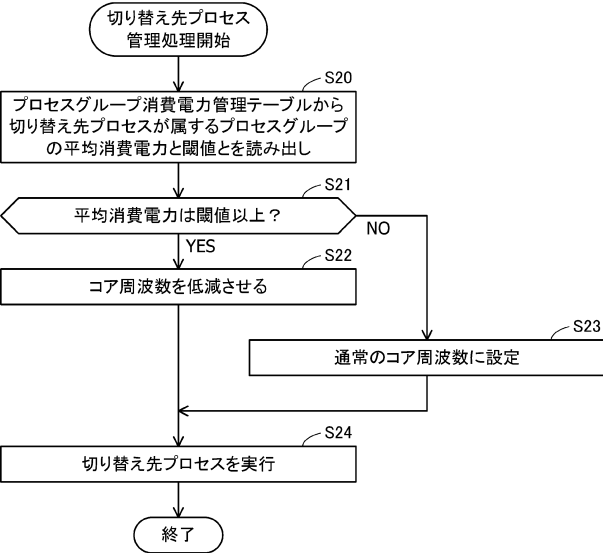
【図 7】



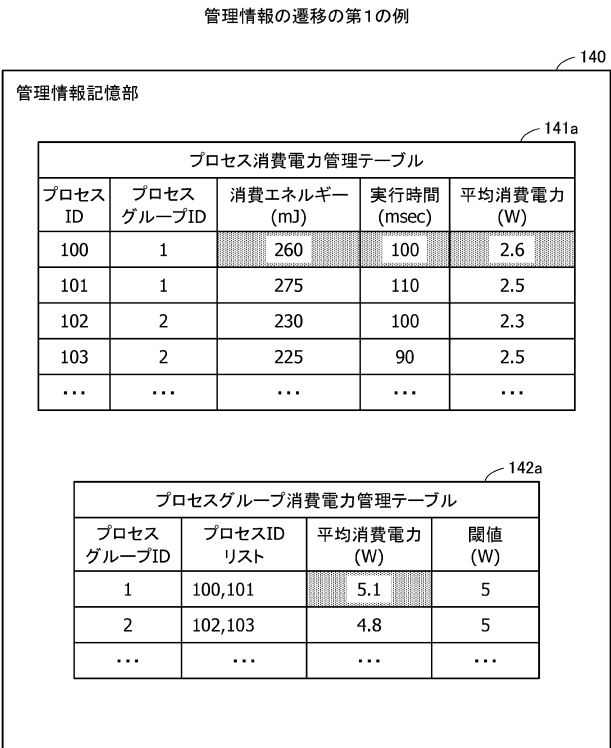
【図 8】



【図 9】



【図 10】



10

20

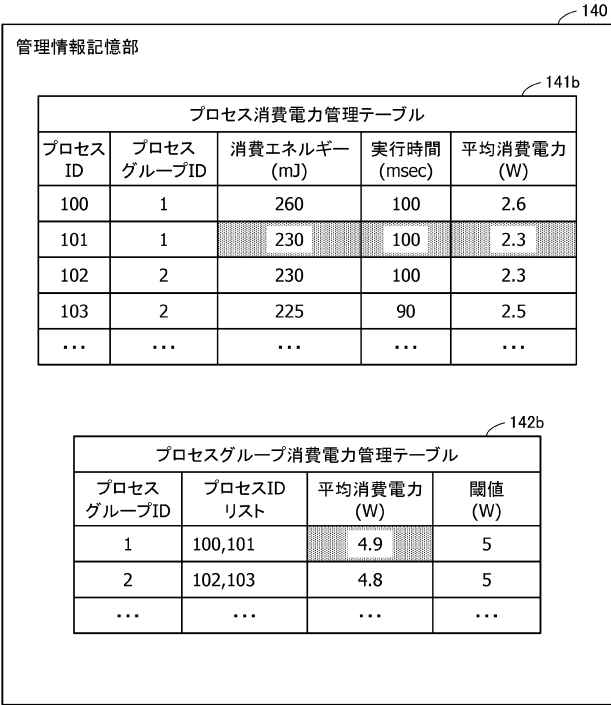
30

40

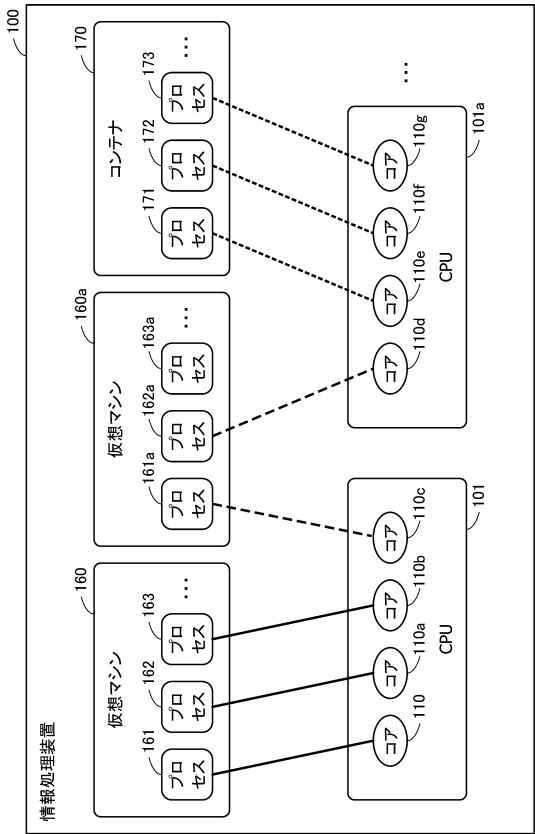
50

【図 1 1】

管理情報の遷移の第2の例



【図 1 2】



10

20

30

40

50