

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 11 月 10 日(10.11.2016)



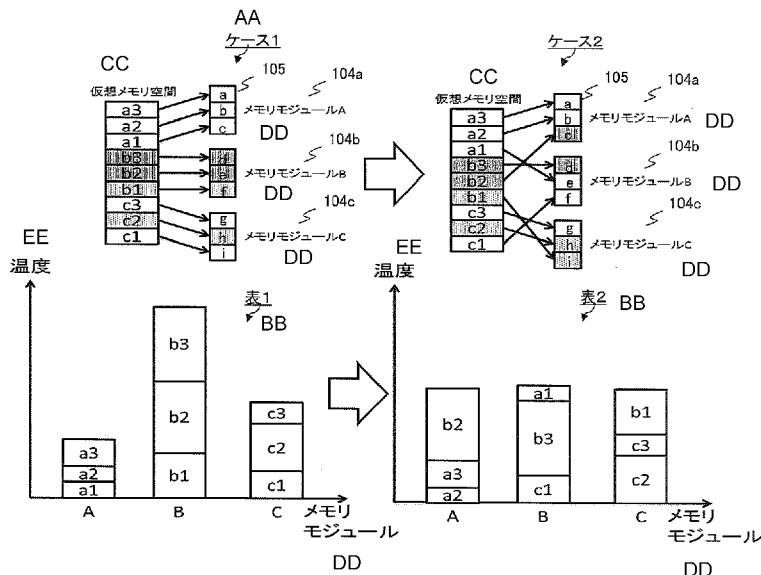
(10) 国際公開番号
WO 2016/178274 A1

- (51) 国際特許分類:
G06F 12/10 (2006.01) *G06F 12/06* (2006.01)
G06F 12/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/063117
- (22) 国際出願日: 2015 年 5 月 1 日(01.05.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 工藤祐輔 (KUDO, Yusuke); 〒2118588 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 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 大菅義之 (OSUGA, Yoshiyuki); 〒1020084 東京都千代田区二番町 8 番地 2 O 二番町ビル 3 F Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: INFORMATION PROCESSING DEVICE AND PROCESSOR

(54) 発明の名称: 情報処理装置及びプロセッサ



AA Case
BB Table
CC Virtual memory space
DD Memory module
EE Temperature

(57) Abstract: According to the present invention, a temperature sensor measures temperatures of a plurality of memory modules. A processing unit changes memory addresses of the plurality of memory modules correlated with memory addresses of pages included in a virtual memory, which enables virtual use of the plurality of memory modules, such that the temperatures of the plurality of memory modules becomes uniform.

(57) 要約: 温度センサは、複数のメモリモジュールの温度を測定する。処理部は、複数のメモリモジュールを仮想的に利用可能とする仮想メモリに含まれるページのメモリアドレスに対応付けられた、前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスを、前記複数のメモリモジュールの温度が均等になるように変更する。

WO 2016/178274 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 情報処理装置及びプロセッサ

技術分野

[0001] この発明は、仮想化技術に関する。

背景技術

[0002] Central Processing Unit (CPU) やメモリなどの物理資源を、仮想的なデバイスとしてOperation System (OS) やアプリケーションに提供する仮想化技術が知られている。

[0003] 複数のメモリモジュールのページのうち、加熱状態にあるメモリモジュールのページを、加熱状態にないメモリモジュールのページに移動させることで、メモリアクセスのスループットを向上させる技術が知られている（例えば、特許文献1を参照）。

[0004] 個々のメモリ構成要素によって、消費される電力及び熱負荷の量を制限する技術が知られている（例えば、特許文献2を参照）。Dynamic Random Access Memory (DRAM) 及びDual In Line Memory Module (DIMM) のうちで十分に利用されていない部分にメモリ割り振りを再分配する。

[0005] 複数のメモリチップが積層されたメモリモジュールにおける、電流の集中や発熱の集中を低減させる技術が知られている（例えば、特許文献3を参照）。各メモリチップは、複数のブロックに分割されたメモリセル部と入力アドレス信号を処理して、動作させるブロックを選択する。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2012-185764号公報

特許文献2：特開2007-133879号公報

特許文献3：特開2013-114644号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 上述した背景技術では以下のような問題がある。

特許文献 1 における情報処理装置は、加熱状態にあるメモリモジュールのページを加熱状態にないメモリモジュールに割り当て、1 対のページのマッピングを交換している。近年は情報処理装置に搭載されるメモリモジュールの数が多くなっており、1 つのメモリモジュールに搭載されるメモリチップの数も多くなっている。そのため、1 対のページを交換しただけでは、メモリモジュールの温度は均等化されない。

[0008] 本発明の目的は、1 対のページだけではなくメモリモジュールに割り当ててある全てのページを交換対象とし、ページのマッピングを最適化してメモリモジュール全体の温度を均等化することで、温度が突出して高いメモリモジュールをなくし、メモリモジュールの冷却に用いられる電力を削減することである。

課題を解決するための手段

[0009] 温度センサは、複数のメモリモジュールの温度を測定する。処理部は、複数のメモリモジュールを仮想的に利用可能とする仮想メモリに含まれるページのメモリアドレスに対応付けられた、前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスを、前記複数のメモリモジュールの温度が均等になるように変更する。

発明の効果

[0010] メモリモジュールの温度が均等となるようにすることで、温度が突出して高いメモリモジュールをなくし、メモリモジュールの冷却に用いられる電力を削減する。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本実施形態に係るページのリマッピング処理の例を説明する図である。

[図2]本実施形態に係る情報処理装置のハードウェア構成の例を示す図である。

。

[図3]本実施形態に係る仮想環境及びVMMの例を説明する図である。

[図4]リマッピング前のメモリモジュールの例を説明する図である。

[図5A]リマッピング処理で生成される温度リストの例を説明する図である。

[図5B]リマッピング処理で生成される温度リストの例を説明する図である。

[図5C]リマッピング処理で生成される温度リストの例を説明する図である。

[図5D]リマッピング処理で生成される温度リストの例を説明する図である。

[図6A]温度リストの最適化処理の例を説明する図である。

[図6B]温度リストの最適化処理の例を説明する図である。

[図7A]手続きリストを生成する処理の例を説明する図である。

[図7B]手続きリストを生成する処理の例を説明する図である。

[図7C]手続きリストを生成する処理の例を説明する図である。

[図7D]手続きリストを生成する処理の例を説明する図である。

[図7E]手続きリストを生成する処理の例を説明する図である。

[図7F]手続きリストを生成する処理の例を説明する図である。

[図7G]手続きリストを生成する処理の例を説明する図である。

[図8]温度リストを生成する処理の例（その１）を説明するフローチャートである。

[図9]温度リストを生成する処理の例（その２）を説明するフローチャートである。

[図10]温度リストを生成する処理の例（その３）を説明するフローチャートである。

[図11]温度リストの最適化処理の例を説明するフローチャートである。

[図12]手続きリストを生成する処理の例を説明するフローチャートである。

[図13]リマッピング前のメモリモジュールの第２の例を説明する図である。

[図14A]温度リストを生成する処理の第２の例を説明する図である。

[図14B]温度リストを生成する処理の第２の例を説明する図である。

[図14C]温度リストを生成する処理の第２の例を説明する図である。

[図14D]温度リストを生成する処理の第２の例を説明する図である。

[図14E]温度リストを生成する処理の第2の例を説明する図である。

[図14F]温度リストを生成する処理の第2の例を説明する図である。

[図14G]温度リストを生成する処理の第2の例を説明する図である。

[図14H]温度リストを生成する処理の第2の例を説明する図である。

[図14I]温度リストを生成する処理の第2の例を説明する図である。

[図14J]温度リストを生成する処理の第2の例を説明する図である。

[図15]リマッピング後のメモリモジュールの第2の例を説明する図である。

[図16]第2の実施形態に係るメモリモジュールの例を説明する図である。

[図17]第3の実施形態に係るメモリモジュールの例を説明する図である。

[図18]第4の実施形態に係るメモリモジュールの温度状況を説明する図である。

[図19]第4の実施形態に係るページの組み合わせを求める処理の例を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

図1は、本実施形態に係るページのリマッピング処理の例を説明する図である。ケース1は、ページのリマッピング前のメモリモジュール104a～104cの例である。リマッピングとは、ページの仮想メモリアドレスに設定されているメモリモジュールの物理メモリアドレスを変更する処理である。メモリモジュール104（104a～104c）は、複数の半導体メモリチップ105（以下、メモリチップ）を基板に装着して配線し、情報処理装置に接続するための接続端子を設けたものである。メモリモジュール104aは、メモリチップ105a～105cを備える。メモリモジュール104bは、メモリチップ105d～105fを備える。メモリモジュール104cは、メモリチップ105g～105iを備える。メモリチップ105a～105iは、温度センサと接続されており、該温度センサにより温度が測定されている。

[0013] メモリモジュールを仮想的な仮想メモリとして使用する仮想環境において

、仮想メモリは、複数のページ（ページa 1～a 3、ページb 1～b 3、ページc 1～c 3）を備える。ページa 3の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 aのメモリチップ105 aが割り当てられている。ページa 2の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 aのメモリチップ105 bが割り当てられている。ページa 1の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 aのメモリチップ105 cが割り当てられている。ページb 3の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 bのメモリチップ105 dが割り当てられている。ページb 2の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 bのメモリチップ105 eが割り当てられている。ページb 1の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 bのメモリチップ105 fが割り当てられている。ページc 3の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 cのメモリチップ105 gが割り当てられている。ページc 2の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 cのメモリチップ105 hが割り当てられている。ページc 1の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 cのメモリチップ105 iが割り当てられている。

[0014] 表1の横軸は、ケース1のメモリモジュール104 a～104 cを示す。表1の縦軸は、メモリモジュール104 a～104 cに含まれるメモリチップの温度の合計値を示す。メモリモジュール104 aの温度を、メモリチップ105 a～105 c（ページa 1～a 3が割り当てられている）の温度の合計値と定義する。メモリモジュール104 bの温度を、メモリチップ105 d～105 f（ページb 1～b 3が割り当てられている）の温度の合計値と定義する。メモリモジュール104 cの温度を、メモリチップ105 g～105 i（ページc 1～c 3が割り当てられている）の温度の合計値と定義する。ページa 1～c 3において、アクセス頻度の高いデータを含むページ（メモリチップ）の方が発熱量は増え、温度が上昇しやすい。

[0015] ここで、ケース1のメモリモジュール104 bの温度は、メモリモジュール104 a及び104 cよりも温度が高い。メモリモジュール104 bの温

度が高いため、冷却ファンなどでメモリモジュール104a～104cを冷却すると、メモリモジュール104aの温度はすでに低いにも関わらず冷却ファンで必要以上に冷却されるため、無駄な電力が消費されてしまう。

[0016] 本実施形態に係る情報処理装置は、無駄な電力の消費を低減するため、メモリモジュール104のページのマッピングを最適化することで温度を均等にする処理を行う。

[0017] ケース2及び表2は、ページのリマッピング後のメモリモジュール104a～104cの例である。リマッピングが実行されると、表2のように、メモリモジュール104a～104cの温度は、均等化される。表2の横軸は、ケース1のメモリモジュール104a～104cを示す。表2の縦軸は、メモリモジュール104a～104cに含まれるメモリチップの温度の合計値を示す。メモリモジュール104aの温度は、メモリチップ105a～105c（ページb2、a3、a2が割り当てられている）の温度の合計値である。メモリモジュール104bの温度は、メモリチップ105d～105f（ページa1、b3、c1が割り当てられている）の温度の合計値である。メモリモジュール104cの温度は、メモリチップ105g～105i（ページb1、c3、c2が割り当てられている）の温度の合計値である。

[0018] リマッピングの結果、ケース2のメモリモジュール104a～104cに割り当てられているページは、ケース1のメモリモジュール104a～104cと異なる。ケース2において、ページa3の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104aのメモリチップ105aが割り当てられている。ページa2の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104aのメモリチップ105bが割り当てられている。ページa1の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104bのメモリチップ105eが割り当てられている。ページb3の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104bのメモリチップ105dが割り当てられている。ページb2のアドレスには、メモリモジュール104aのメモリチップ105cが割り当てられている。ページb1の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104cのメモリチ

ップ105 i が割り当てられている。ページc 3の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 cのメモリチップ105 gが割り当てられている。ページc 2の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 cのメモリチップ105 hが割り当てられている。ページc 1の仮想メモリアドレスには、メモリモジュール104 bのメモリチップ105 fが割り当てられている。

[0019] メモリモジュール104 a～104 cの温度が所定の閾値を超えていない場合、冷却ファンの回転数を下げることができる。すると、ケース2のメモリモジュールを備える情報処理装置は、ケース1の場合に比べ、冷却に使用する電力を削減することができる。

[0020] 図2は、本実施形態に係る情報処理装置のハードウェア構成の例を示す図である。情報処理装置201は、CPU202、DIMM203、温度センサ204、システム監視コントローラ205、BIOS ROM206、メモリ管理ユニット207を備える。

[0021] CPU202は、DIMM203に呼び出されたプログラムを実行する。DIMM203は、メモリモジュールである。DIMM203は、情報処理装置201内に複数搭載されてよい。DIMM203は、複数のメモリチップ208を備える。メモリチップ208は、情報処理装置206で扱うデータを記憶する。

[0022] 温度センサ204は、メモリチップ208の各々に接続され、一定の時間間隔でメモリチップ208の温度を測定する。システム監視コントローラ205は、温度センサ204が測定したメモリチップの温度情報を取得し、メモリチップの温度を監視する。

[0023] BIOS ROM206は、Virtual Machine Monitor (VMM) などの仮想化機能を提供する制御プログラムなどを記憶している。VMMは、CPU202、DIMM203などのメモリモジュールなどの物理資源を仮想化し、仮想環境に対して仮想CPUや仮想メモリなどの仮想資源として提供する制御プログラムである。以下、仮想CPU及び仮

想メモリなどの仮想化デバイスにより作成された環境を、仮想環境と称す。

[0024] 例えば、VMMはメモリモジュールの物理メモリアドレスと仮想メモリの仮想メモリアドレスとを対応づけることで、メモリモジュールなどの物理資源を仮想メモリなどの仮想資源として提供する。

VMMは、BIOS ROM 206からDIMM 203に呼び出されることで実行可能な状態となり、CPU 202によって実行される。

メモリ管理ユニット207は、ページのリマッピング処理の制御をする。

[0025] 図3は、本実施形態に係る仮想環境及びVMMの例を説明する図である。

VMM 108は、CPU 202、DIMM 203などのメモリモジュールなどの物理資源を仮想化し、仮想環境114に対して仮想CPU 116や仮想メモリ117などの仮想資源として提供する。VMM 108の処理は、処理部115に従って実行される。

[0026] なお、ユーザが仮想環境114を使用する場合、使用することができるのはVMM 108により仮想化された仮想メモリ117であり、物理資源であるメモリモジュールではない。仮想メモリ117は、ユーザが任意に設定可能である。Extended Page Table (EPT) 113は、仮想環境上の仮想メモリアドレスとメモリモジュールの物理アドレスを対応づけるテーブルである。このEPT 113のエントリには、仮想メモリアドレスに対応する物理アドレスが記述されている。そのため、仮想メモリアドレスに対応する物理アドレスを変更することで、メモリ管理ユニット207は、仮想環境に対応付けるメモリモジュールのページを別のページに割り当てることができる。

[0027] 温度リスト110は、メモリモジュールの温度が平均値に近くなるように（均等となるように）、メモリモジュールの物理メモリアドレスと、ページの仮想メモリアドレスの組み合わせを変更する処理で用いられる情報である。手続きリスト112は、仮想メモリアドレスに対応する物理メモリアドレスを変更する際に、その変更の順序が示されている情報である。

[0028] 図4は、リマッピング前のメモリモジュールの例を説明する図である。図

4のメモリモジュール1は、メモリチップ番号1～3のメモリチップを備える。メモリモジュール1のメモリチップ番号が1のメモリチップには、仮想メモリのページ1に対応づけられており、該メモリチップの発熱量（温度）は40度である。メモリモジュール1のメモリチップ番号が2のメモリチップには、仮想メモリのページ2に対応づけられており、該メモリチップの発熱量（温度）は35度である。メモリモジュール1のメモリチップ番号が3のメモリチップには、仮想メモリのページ3に対応づけられており、該メモリチップの発熱量（温度）は28度である。

[0029] メモリモジュール2のメモリチップ番号が1のメモリチップには、仮想メモリのページ4に対応づけられており、該メモリチップの発熱量（温度）は54度である。メモリモジュール2のメモリチップ番号が2のメモリチップには、仮想メモリのページ5に対応づけられており、該メモリチップの発熱量（温度）は38度である。メモリモジュール2のメモリチップ番号が3のメモリチップには、仮想メモリのページ6に対応づけられており、該メモリチップの発熱量（温度）は34度である。

[0030] メモリモジュール3のメモリチップ番号が1のメモリチップには、仮想メモリのページ7に対応づけられており、該メモリチップの発熱量（温度）は55度である。メモリモジュール3のメモリチップ番号が2のメモリチップには、仮想メモリのページ8に対応づけられており、該メモリチップの発熱量（温度）は73度である。メモリモジュール3のメモリチップ番号が3のメモリチップには、仮想メモリのページ9に対応づけられており、該メモリチップの発熱量（温度）は51度である。

[0031] メモリモジュール4のメモリチップ番号が1のメモリチップには、仮想メモリのページ10に対応づけられており、該メモリチップの発熱量（温度）は81度である。メモリモジュール4のメモリチップ番号が2のメモリチップには、仮想メモリのページ11に対応づけられており、該メモリチップの発熱量（温度）は98度である。メモリモジュール4のメモリチップ番号が3のメモリチップには、仮想メモリのページ12に対応づけられており、該

メモリチップの発熱量（温度）は133度である。

[0032] 図5A～図5Dは、リマッピング処理で生成される温度リストの例を説明する図である。メモリモジュールの温度が平均値に近くなるように（均等となるように）、メモリモジュールの物理メモリアドレスと、ページの仮想メモリアドレスの組み合わせを変更する処理が開始されると、メモリモジュールの状態に応じた温度リストが生成される。以下で、メモリモジュールの温度が平均値に近くなるように（均等となるように）、メモリモジュールの物理メモリアドレスと、ページの仮想メモリアドレスの組み合わせを、温度リストを用いて選定する処理の例を説明する。

[0033] (A1) 処理部115は、リマッピング前のメモリモジュールと仮想メモリの状態から温度リストを生成する。温度リストは、メモリモジュール番号、メモリチップ番号、メモリチップの温度、平均からの乖離度、リマッピング中ページ番号、リマッピング後ページ番号、選定済みフラグの情報を備える。処理部115は、図4のメモリモジュール及び仮想メモリの状態に基づき、メモリモジュール番号、メモリチップ番号を温度リストに設定する。以下において、リマッピング前のメモリモジュールのページ番号は、現在リマッピングされているページを意味する「リマッピング中ページ」と称し、該ページを識別する番号を、「リマッピング中ページ番号」と称す。

[0034] (A2) 処理部115は、EPT113に基づいて、温度リスト内のリマッピング中ページ番号に、各メモリチップが対応づけられているページを識別する番号を設定する。

[0035] (A3) 処理部115は、システム監視コントローラ205から、各メモリチップの温度の情報を取得する。処理部115は、温度リストのメモリチップの温度のカテゴリーに、取得した各メモリチップの温度を設定する。

(A1)～(A3)までは、図4のメモリモジュールの状態に基づく情報である。

[0036] (A4) 処理部115は、取得した全メモリチップの温度の平均温度を算出する。その後、処理部115は、各メモリチップの温度の平均温度から

の乖離度を算出する。平均温度からの乖離度とは、メモリチップの温度からメモリチップの平均温度を差し引いた値であり、平均からどれだけ離れているかを示す値である。処理部 115 は、温度リストの平均からの乖離度に、算出した各メモリチップの温度の平均温度からの乖離度を設定する。

[0037] (A 5) 処理部 115 は、リマッピング後の各メモリチップに割り当てられるページ番号を選定する処理を開始する。

[0038] (A 5. 1) 処理部 115 は、まず、「累積値」に 0 を設定する。

[0039] (A 5. 2) 処理部 115 は、平均からの乖離度を累積値に加算して、加算された値が最も「0」に近づくリマッピング中ページ番号を選定する。ここで、処理部 115 は、乖離度「-5」が最も 0 に近いため、リマッピング中ページ番号 7 を選定する。処理部 115 は、温度リストの選定済みフラグのカテゴリにおける、「リマッピング中ページ番号 7」が選定済みであることを示す情報を設定する。処理部 115 は、選定したリマッピング中ページ番号 7 の乖離度「-5」を累積値「0」に加算する。この結果、累積値は、「-5」となる。

[0040] (A 5. 3) 処理部 115 は、選定した「リマッピング中ページ番号 7」を、温度リストの「リマッピング後ページ番号」の空欄の上側から順に設定する。

[0041] ここで、図 4 のメモリモジュールが 3 つのメモリチップを搭載しているため、処理部 115 は、温度リストから平均からの乖離度を 3 つ選択し、3 つの乖離度を加算した値が最も「0」に近づくリマッピング中ページ番号を選定する。そのため、処理部 115 は、(A 5. 4) ~ (A 5. 7) の処理を実行する。

[0042] (A 5. 4) 処理部 115 は、平均からの乖離度を累積値「-5」に加算して、加算された値が最も「0」に近づくリマッピング中ページ番号を選定する。ここで、処理部 115 は、乖離度「13」と累積値「-5」の加算結果が、最も 0 に近いため、リマッピング中ページ番号 8 を選定する。処理部 115 は、温度リストの選定済みフラグのカテゴリにおける、「リ

マッピング中ページ番号 8」が選定済みであることを示す情報を設定する。

処理部 115 は、選定したリマッピング中ページ番号 7 の乖離度「13」を累積値「-5」に加算する。この結果、累積値は、「8」となる。

[0043] (A5.5) 処理部 115 は、選定した「リマッピング中ページ番号 8」を、温度リストの「リマッピング後ページ番号」の空欄の上側から順に設定する。

[0044] (A5.6) 処理部 115 は、平均からの乖離度を累積値「8」に加算して、加算された値が最も「0」に近づくリマッピング中ページ番号を選定する。ここで、処理部 115 は、乖離度「-9」と累積値「8」の加算結果が、最も 0 に近いため、リマッピング中ページ番号 9 を選定する。処理部 115 は、温度リストの選定済みフラグのカテゴリにおける、「リマッピング中ページ番号 9」が選定済みであることを示す情報を設定する。処理部 115 は、選定したリマッピング中ページ番号 7 の乖離度「-9」を累積値「8」に加算する。この結果、累積値は、「-1」となる。

[0045] (A5.7) 処理部 115 は、選定した「リマッピング中ページ番号 9」を、温度リストの「リマッピング後ページ番号」の空欄の上側から順に設定する。

[0046] (A5.1) ~ (A5.7) の処理により、メモリモジュール 1 つに対するページの選定がされたため、次のメモリモジュールのためのページの選定処理を実行する。処理部 115 は、全てのメモリチップが選定されるまで (A5.1) ~ (A5.7) の処理を繰り返す。以下、(A5.8) ~ (A5.10) は、繰り返しの処理の例を示す。

[0047] (A5.8) 処理部 115 は、平均からの乖離度を累積値に加算して、加算された値が最も「0」に近づく「リマッピング中ページ番号」を選定する。処理部 115 は、選定した「リマッピング中ページ番号 4、10、1」を、温度リストの「リマッピング後ページ番号」の空欄の上側から順に設定する。なお、処理部 115 は、温度リストの選定済みフラグのカテゴリにおける、「リマッピング中ページ番号 4、10、1」が選定済みである

ことを示す情報を設定する。

[0048] (A 5. 9) 処理部 115 は、平均からの乖離度を累積値に加算して、加算された値が最も「0」に近づく「リマッピング中ページ番号」を選定する。処理部 115 は、選定した「リマッピング中ページ番号 5、11、2」を、温度リストの「リマッピング後ページ番号」の空欄の上側から順に設定する。なお、処理部 115 は、温度リストの選定済みフラグのカテゴリにおける、「リマッピング中ページ番号 5、11、2」が選定済みであることを示す情報を設定する。

[0049] (A 5. 10) 処理部 115 は、平均からの乖離度を累積値に加算して、加算された値が最も「0」に近づく「リマッピング中ページ番号」を選定する。処理部 115 は、選定した「リマッピング中ページ番号 6、12、3」を、温度リストの「リマッピング後ページ番号」の空欄の上側から順に設定する。なお、処理部 115 は、温度リストの選定済みフラグのカテゴリにおける、「リマッピング中ページ番号 6、12、3」が選定済みであることを示す情報を設定する。

[0050] このように、3つの乖離度の合計値が0に近づく「リマッピング中ページ番号」の組み合わせを選定することで、各メモリモジュールの温度が均等になるページの組み合わせを選定できる。メモリ管理ユニット207が、選定したページの組み合わせに基づいて、ページの仮想メモリアドレスとメモリチップの物理メモリアドレスの組み合わせを変更する。具体的には、メモリ管理ユニット207は、「メモリモジュール1のメモリチップ1～3」に「リマッピング中ページ番号7、8、9」対応づける。メモリ管理ユニット207は、「メモリモジュール2のメモリチップ1～3」に「リマッピング中ページ番号4、10、1」対応づける。メモリ管理ユニット207は、「メモリモジュール3のメモリチップ1～3」に「リマッピング中ページ番号5、11、2」対応づける。メモリ管理ユニット207は、「メモリモジュール4のメモリチップ1～3」に「リマッピング中ページ番号6、12、3」対応づける。これにより、各メモリモジュールの温度の均等化（各メモリモ

ジュールの温度の総和が平均値に近づく)を図ることができ、メモリモジュールの冷却に係る電力消費量を減らすことができる。

[0051] 図6 A及び図6 Bは、温度リストの最適化処理の例を説明する図である。図5の温度リストに従ってメモリチップの物理メモリアドレスとページの仮想メモリアドレスとを対応づけることで、各メモリモジュールの温度の総和を平均値に近づけることができる。しかし、図5の温度リストは、ページ交換の処理を考慮しておらず、ページ交換回数が少ないリマッピングである方が、情報処理装置への負荷が小さく好ましい。以下に、ページ交換回数を減らすための処理を順に説明する。

[0052] (B 1) 処理部115は、温度リスト内の各メモリモジュールに対応づけられるリマッピング中ページ番号を評価する。具体的には、処理部115は、現在のメモリモジュールにマッピングしているページの組合せが、リマッピング後にどれだけまとまっているかという点を評価する。例えば、メモリモジュール3の「リマッピング中ページ番号7、8、9」は、リマッピング後ページ番号においてもメモリモジュール1に3つあてはまっているため、処理部115は、メモリモジュール3に対して評価値3を割り当てる。メモリモジュール1の「リマッピング中ページ番号1、2、3」、メモリモジュール2の「リマッピング中ページ番号4、5、6」、メモリモジュール4の「リマッピング中ページ番号10、11、12」は、リマッピング後には別々のメモリモジュールに離散して割り当てられているため、評価値1となる(図6 A参照)。ここで、ページ交換の回数を考慮せずにリマッピングした場合、メモリモジュール3のページを、全てメモリモジュール1に移動させることになり、無駄なリマッピング処理が実行されることになってしまう。

[0053] (B 2) 図6 Bに示すように、評価値が高い(2以上の)メモリモジュールを優先して選択し、元のメモリモジュールに割り当てる。割当てをしたメモリモジュールには、交換済みのフラグを設定する。

[0054] (B 3) 評価2以上のメモリモジュールの再割当(B 2)の処理が完了

した場合、処理部 115 は、ページ交換回数を減らすための処理を終了する。

[0055] このように、リマッピング中ページが元々のメモリモジュールの組み合わせに近いものは、元のメモリモジュールに対応づけられた方がページ交換の回数を減らすことができる。

[0056] 図 7 A～図 7 G は、手続きリストを生成する処理の例を説明する図である。温度リストに従ったページ交換を一斉に行った場合、ページ交換先のページが別のページの交換元である可能性があり、ページ交換の競合が発生する可能性がある。そのため、処理部 115 は、手続きリストを生成し、ページ交換の処理の順番を定義する。以下に、手続きリストの生成手順を順に説明する。

[0057] (C1) 処理部 115 は、温度リスト中のメモリモジュールを 1 つ選択する。処理部 115 は、選択したメモリモジュールについて温度リスト内で「リマッピング中ページ番号」と「リマッピング後ページ番号」とで共通する番号がある場合、両者の番号が揃うように「リマッピング後ページ番号」を交換する。具体的には、図 6 の温度リストを参照すると、メモリモジュール 1 のページ番号 2 が共通している。そのため、処理部 115 は、ページ番号 2 が揃うように「リマッピング後ページ番号 2」と「リマッピング後ページ番号 11」を交換する。

[0058] (C2) 処理部 115 は、選択したメモリモジュールについて、リマッピング前後でページ番号が変更になるエントリを手続きリストに移す。手続きリストは、交換元ページ番号、交換先ページ番号、交換順のカテゴリーを備える。交換元ページ番号には、リマッピング中ページ番号が設定される。交換先ページ番号は、リマッピング後ページ番号が設定される。交換順は、ページ交換の処理の順番である。ここで、(C2) の処理は、1 回目の手続きリストへの書き込みであるため、交換順に 1 を設定する。

[0059] (C3) 実際にページにアクセスしている可能性のある仮想メモリアドレスのページマッピングを交換すると、メモリモジュールのアクセス状態も

変更されるため、処理部 115 は、一時的に仮想メモリアドレスのページ交換を「温度リスト」で管理する。具体的には、処理部 115 は、メモリモジュール 1 番のマッピングが変更されたことを「温度リスト」で再現するために、「手続きリスト」の内容に従って「温度リスト」の「リマッピング中ページ番号」の 1 番と 5 番、3 番と 11 番とをそれぞれ交換する。これにより「温度リスト」の「リマッピング中ページ番号」はメモリモジュール 1 番のページをリマッピングした状態を示したものとなる。

[0060] (C4) 処理部 115 は、温度リスト中の次のメモリモジュール（メモリモジュール 2）を選択する。処理部 115 は、選択したメモリモジュールについて温度リスト内で「リマッピング中ページ番号」と「リマッピング後ページ番号」とで共通する番号がある場合、両者の番号が揃うように「リマッピング後ページ番号」を交換する。具体的には、図 6 の温度リストを参照すると、メモリモジュール 2 のページ番号 1 が共通している。そのため、処理部 115 は、ページ番号 1 が揃うように「リマッピング後ページ番号 1」と「リマッピング後ページ番号 10」を交換する。

[0061] (C5) 処理部 115 は、選択したメモリモジュール 2 について、リマッピング前後でページ番号が変更になるエントリを手続きリストに移す。ここで、(C5) の処理は、2 回目の手続きリストへの書き込みであるため、交換順に 2 を設定する。

[0062] (C6) 処理部 115 は、メモリモジュール 2 番のマッピングが変更されたことを「温度リスト」で再現するために、「手続きリスト」の内容に従って「温度リスト」の「リマッピング中ページ番号」の 6 番と 10 番を交換する。これにより「温度リスト」の「リマッピング中ページ番号」はメモリモジュール 2 番のページをリマッピングした状態を示したものとなる。

[0063] (C7) 処理部 115 は、温度リスト中の次のメモリモジュール（メモリモジュール 3）を選択する。メモリモジュール 3 の「リマッピング中ページ番号」と「リマッピング後ページ番号」とが全て共通しており、揃っているため、処理部 115 は、メモリモジュール 3 についてのページ交換処理を

実行しない。

[0064] (C 8) 処理部 115 は、温度リスト中の次のメモリモジュール（メモリモジュール 4）を選択する。メモリモジュール 3 の「リマッピング中ページ番号」と「リマッピング後ページ番号」とが全て共通しているため、処理部 115 は、メモリモジュール 4 についてのページ交換処理を実行しない。処理部 115 は、全てのメモリモジュールに関するし手続きリストを生成する処理を終了する。

[0065] (C 1) ～ (C 8) で生成された「手続きリスト」に従って仮想メモリのマッピングを交換すれば、メモリモジュール間の温度が均等化される。仮想メモリのマッピング交換（リマッピング）は、処理部 115 の指示により、メモリ管理ユニット 207 が実行する。

[0066] 図 8 は、温度リストを生成する処理の例（その 1）を説明するフローチャートである。図 8 に示すフローチャートは、図 5 で説明した (A 1) ～ (A 4) の処理である。処理部 115 は、DIMM に対応するメモリモジュール番号を温度リストに設定する（ステップ S 101）。なお、VMM は、仮想環境を生成するために、メモリモジュールなどの物理資源の情報を保持しているものとする。処理部 115 は、各メモリモジュールに搭載されているメモリチップ番号を温度リストに設定する（ステップ S 102）。処理部 115 は、各メモリチップにマッピングされているリマッピング中ページ番号を温度リストに設定する（ステップ S 103）。処理部 115 は、システム監視コントローラ 205 から、各メモリチップの温度の情報を取得する（ステップ S 104）。処理部 115 は、温度リストのメモリチップの温度のカテゴリに、取得した各メモリチップの温度を設定する（ステップ S 105）。処理部 115 は、取得した全メモリチップの温度の平均温度を算出する（ステップ S 106）。処理部 115 は、各メモリチップの温度の平均温度からの乖離度を算出し、算出した乖離度を温度リストに設定する（ステップ S 107）。

[0067] 図 9 は、温度リストを生成する処理の例（その 2）を説明するフローチャ

ートである。図9に示すフローチャートは、図5で説明した（A5）～（A5.10）などの処理であり、処理部115がリマッピング後の各メモリチップに割り当てられるページ番号を選定する処理である。処理部115は、まず、「累積値」に0を設定する（ステップS201）。処理部115は、平均からの乖離度を累積値に加算し、加算された値が最も「0」に近づくリマッピング中ページ番号を選定する（ステップS202）。処理部115は、温度リストの選定済みフラグのカテゴリーに対して、選定されたリマッピング中ページ番号が選定済みであることを示す情報を設定する（ステップS203）。累積値に、選定したページの乖離度を累積値に加算する（ステップS204）。処理部115は、選定した「リマッピング中ページ番号」を、温度リストの「リマッピング後ページ番号」の空欄の上側から順に設定する（ステップS205）。処理部115は、メモリモジュールに搭載するメモリチップの数に対応するページを選定したかを判定する（ステップS206）。メモリモジュールに搭載するメモリチップの数に対応するページを選定されていない場合（ステップS206でNO）、処理部115は、処理をステップS202から繰り返す。

[0068] メモリモジュールに搭載するメモリチップの数に対応するページを選定されている場合（ステップS206でYES）、処理部115は、「累積値」に0を設定する（ステップS207）。処理部115は、全てのページ番号を選定したかを判定する（ステップS208）。全てのページ番号が選定されていない場合（ステップS208でNO）、処理部115は、処理をステップS202から繰り返す。全てのページ番号が選定済みである場合（ステップS208でYES）、処理部115は、温度リストを生成する際の処理を終了する。

[0069] このように、3つの乖離度の合計値が0に近づく「リマッピング中ページ番号」の組み合わせを選定することで、各メモリモジュールの温度が均等になるページの組み合わせを選定できる。

[0070] 図10は、温度リストを生成する処理の例（その3）を説明するフローチ

ャートである。図10のフローチャートは、図9のステップS202の処理をより詳細に説明した図である。処理部115は、温度リストの先頭エントリの「平均からの乖離度」と「累積値」とを加算した値を「比較値」として設定する（ステップS301）。「累積値」と「平均からの乖離度」の和（以下、「加算値」）が最小であるリマッピング中ページ番号を見つけるため、先頭エントリを選択し探索する（ステップS302）。処理部115は、選択したエントリの「選定済みフラグ」が設定されているかを判定する（ステップS303）。選択したエントリの「選定済みフラグ」が設定されている場合（ステップS303でYES）、処理部115は、次のエントリを選択し探索する（ステップS304）。

[0071] 選択したエントリの「選定済みフラグ」が設定されていない場合（ステップS303でNO）、処理部115は、選択したエントリの「加算値」の絶対値が「比較値」の絶対値よりも小さいかを判定する（ステップS305）。選択したエントリの「加算値」の絶対値が「比較値」の絶対値よりも小さい場合（ステップS305でYES）、処理部115は、「加算値」を「比較値」に代入する（ステップS306）。処理部115は、選択したエントリの「リマッピング中ページ番号」を選定候補とする（ステップS307）。ステップS307の処理の後、又は、選択したエントリの「加算値」の絶対値が「比較値」の絶対値よりも大きい場合（ステップS305でNO）、処理部115は、全てのエントリの探索が終了したかを判定する（ステップS308）。全てのエントリの探索が終了していない場合（ステップS308でNO）、処理部115は、処理をステップS304から繰り返す。全てのエントリの探索が終了している場合（ステップS308でYES）、処理部115は、最終的にステップS307の処理で選定候補とされたエントリが、最も「累積値」が0に近づく「リマッピング中ページ番号」であると判定する（ステップS309）。

[0072] 図11は、温度リストの最適化処理の例を説明するフローチャートである。以下、温度リストの最適化処理（ページ交換回数を減らすための処理）を

、温度リストの整理とも称す。図11のフローチャートは、図5の(B1)～(B3)の処理を詳細に説明する。

[0073] 処理部115は、温度リスト内の各メモリモジュールに対応づけられている「リマッピング中ページ番号」を評価する(ステップS401)。処理部115は、温度リストの最適化処理が実行されていない(未交換である)全てのメモリモジュールの評価値が1かを判定する(ステップS402)。温度リストの最適化処理が実行されていない全てのメモリモジュールの評価値が1である場合(ステップS402でYES)、処理部115は、処理を終了する。温度リストの最適化処理が実行されていない全てのメモリモジュールの評価値が1でない場合(ステップS402でNO)、処理部115は、最も評価値の高いメモリモジュール(以下、メモリモジュールA)を選定する(ステップS403)。処理部115は、メモリモジュールAに含まれる「リマッピング中ページ番号」の組み合わせと同様の「リマッピング後ページ番号」の組み合わせを持つメモリモジュール(以下、メモリモジュールB)を選定する(ステップS404)。処理部115は、メモリモジュールAに属する「リマッピング後ページ番号」とメモリモジュールBに属する「リマッピング後ページ番号」とを交換する(ステップS405)。処理部115は、メモリモジュールAを交換済みとする(ステップS406)。ステップS406の処理が終了すると、処理部115は、処理をS401から繰り返す。

[0074] このように、リマッピング中ページが元々のメモリモジュールの組み合わせに近いものは、元のメモリモジュールに対応づけられた方がページ交換の回数を減らすことができる。

[0075] 図12は、手続きリストを生成する処理の例を説明するフローチャートである。図12のフローチャートは、図7の(C1)～(C8)の処理である。処理部115は、温度リスト中のメモリモジュールを1つ選択する(ステップS501)。処理部115は、選択したメモリモジュールについて温度リスト内で「リマッピング中ページ番号」と「リマッピング後ページ番号」

とで共通する番号がある場合、両者の番号が揃うように「リマッピング後ページ番号」を交換する（ステップS502）。処理部115は、選択したメモリモジュールについて、「リマッピング中ページ番号」と「リマッピング後ページ番号」が同一であるかを判定する（ステップS503）。選択したメモリモジュールについて「リマッピング中ページ番号」と「リマッピング後ページ番号」が同一である場合（ステップS503でYES）、処理部115は、次のメモリモジュールを選択する（ステップS504）。選択したメモリモジュールについて「リマッピング中ページ番号」と「リマッピング後ページ番号」が同一でない場合（ステップS503でNO）、処理部115は、リマッピング前後でページ番号が変更になるエントリを手続きリストに移す（ステップS505）。処理部115は、ページ交換を温度リスト内で再現するために「リマッピング中ページ番号」を交換する（ステップS506）。処理部115は、全てのメモリモジュールについて処理が実行されたかを判定する（ステップS507）。全てのメモリモジュールについて処理が終了されていない場合（ステップS507でNO）、処理部115は、処理をステップS504から繰り返す。全てのメモリモジュールについて処理が終了されている場合（ステップS507でYES）、処理部115は、手続きリストを生成する処理を終了する。

[0076] 生成された「手続きリスト」に従って仮想メモリのマッピングを交換すれば、メモリモジュール間の温度が均等化される。仮想メモリのマッピング交換（リマッピング）は、処理部115の指示により、メモリ管理ユニット207が実行する。

[0077] 図13は、リマッピング前のメモリモジュールの第2の例を説明する図である。図13のメモリモジュール1は、メモリチップ番号1～8のメモリチップを備える。メモリモジュール1のメモリチップ番号が1のメモリチップには、仮想メモリのページ番号1に対応づけられており、該メモリチップの温度は45度である。メモリモジュール1のメモリチップ番号が2のメモリチップには、仮想メモリのページ番号2に対応づけられており、該メモリチ

ップの温度は74度である。メモリモジュール1のメモリチップ番号が3のメモリチップには、仮想メモリのページ番号3に対応づけられており、該メモリチップの温度は72度である。メモリモジュール1のメモリチップ番号が4のメモリチップには、仮想メモリのページ番号4に対応づけられており、該メモリチップの温度は77度である。メモリモジュール1のメモリチップ番号が5のメモリチップには、仮想メモリのページ番号5に対応づけられており、該メモリチップの温度は30度である。メモリモジュール1のメモリチップ番号が6のメモリチップには、仮想メモリのページ番号6に対応づけられており、該メモリチップの温度は66度である。メモリモジュール1のメモリチップ番号が7のメモリチップには、仮想メモリのページ番号7に対応づけられており、該メモリチップの温度は78度である。メモリモジュール1のメモリチップ番号が8のメモリチップには、仮想メモリのページ番号8に対応づけられており、該メモリチップの温度は93度である。メモリモジュール1に搭載されたメモリチップの温度の平均は、およそ66.8度である。

[0078] 図13のメモリモジュール2は、メモリチップ番号1～8のメモリチップを備える。メモリモジュール2のメモリチップ番号が1のメモリチップには、仮想メモリのページ番号9に対応づけられており、該メモリチップの温度は118度である。メモリモジュール2のメモリチップ番号が2のメモリチップには、仮想メモリのページ番号10に対応づけられており、該メモリチップの温度は116度である。メモリモジュール2のメモリチップ番号が3のメモリチップには、仮想メモリのページ番号11に対応づけられており、該メモリチップの温度は36度である。メモリモジュール2のメモリチップ番号が4のメモリチップには、仮想メモリのページ番号12に対応づけられており、該メモリチップの温度は85度である。メモリモジュール2のメモリチップ番号が5のメモリチップには、仮想メモリのページ番号13に対応づけられており、該メモリチップの温度は80度である。メモリモジュール2のメモリチップ番号が6のメモリチップには、仮想メモリのページ番号1

4に対応づけられており、該メモリチップの温度は87度である。メモリモジュール2のメモリチップ番号が7のメモリチップには、仮想メモリのページ番号15に対応づけられており、該メモリチップの温度は76度である。メモリモジュール2のメモリチップ番号が8のメモリチップには、仮想メモリのページ番号16に対応づけられており、該メモリチップの温度は115度である。メモリモジュール2に搭載されたメモリチップの温度の平均は、およそ89.1度である。

[0079] 図13のメモリモジュール3は、メモリチップ番号1～8のメモリチップを備える。メモリモジュール3のメモリチップ番号が1のメモリチップには、仮想メモリのページ番号17に対応づけられており、該メモリチップの温度は63度である。メモリモジュール3のメモリチップ番号が2のメモリチップには、仮想メモリのページ番号18に対応づけられており、該メモリチップの温度は80度である。メモリモジュール3のメモリチップ番号が3のメモリチップには、仮想メモリのページ番号19に対応づけられており、該メモリチップの温度は107度である。メモリモジュール3のメモリチップ番号が4のメモリチップには、仮想メモリのページ番号20に対応づけられており、該メモリチップの温度は57度である。メモリモジュール3のメモリチップ番号が5のメモリチップには、仮想メモリのページ番号21に対応づけられており、該メモリチップの温度は33度である。メモリモジュール3のメモリチップ番号が6のメモリチップには、仮想メモリのページ番号22に対応づけられており、該メモリチップの温度は105度である。メモリモジュール3のメモリチップ番号が7のメモリチップには、仮想メモリのページ番号23に対応づけられており、該メモリチップの温度は113度である。メモリモジュール3のメモリチップ番号が8のメモリチップには、仮想メモリのページ番号24に対応づけられており、該メモリチップの温度は120度である。メモリモジュール3に搭載されたメモリチップの温度の平均は、およそ84.8度である。

[0080] 図13のメモリモジュール4は、メモリチップ番号1～8のメモリチップ

を備える。メモリモジュール4のメモリチップ番号が1のメモリチップには、仮想メモリのページ番号25に対応づけられており、該メモリチップの温度は52度である。メモリモジュール4のメモリチップ番号が2のメモリチップには、仮想メモリのページ番号26に対応づけられており、該メモリチップの温度は114度である。メモリモジュール4のメモリチップ番号が3のメモリチップには、仮想メモリのページ番号27に対応づけられており、該メモリチップの温度は56度である。メモリモジュール4のメモリチップ番号が4のメモリチップには、仮想メモリのページ番号28に対応づけられており、該メモリチップの温度は67度である。メモリモジュール4のメモリチップ番号が5のメモリチップには、仮想メモリのページ番号29に対応づけられており、該メモリチップの温度は32度である。メモリモジュール4のメモリチップ番号が6のメモリチップには、仮想メモリのページ番号30に対応づけられており、該メモリチップの温度は70度である。メモリモジュール4のメモリチップ番号が7のメモリチップには、仮想メモリのページ番号31に対応づけられており、該メモリチップの温度は55度である。メモリモジュール4のメモリチップ番号が8のメモリチップには、仮想メモリのページ番号32に対応づけられており、該メモリチップの温度は59度である。メモリモジュール4に搭載されたメモリチップの温度の平均は、およそ63.1度である。

[0081] 図14A～図14Jは、温度リストを生成する処理の第2の例を説明する図である。図14Aは、図13に示したメモリモジュールを対象にリマッピング処理が開始され、図8のステップS101～ステップS107の処理で生成される温度リストの例である。具体的には、処理部115は、メモリモジュール番号、メモリチップ番号、リマッピング中ページ番号を温度リストに設定する。処理部115は、システム監視コントローラ205から各メモリチップの温度の情報を取得する。処理部115は、温度リストのメモリチップの温度のカテゴリーに、取得した各メモリチップの温度を設定する。処理部115は、各メモリチップの温度の平均温度からの乖離度を算出し、算

出した乖離度を温度リストに設定する。

[0082] 図14Bは、図9のステップS201～ステップS208の処理により「リマッピング後ページ番号」を選定する処理の例である。具体的には、処理部115は、リマッピング後の各メモリチップに割り当てられるリマッピング中ページ番号を選定する処理を実行する。各メモリモジュールに搭載されているメモリチップが8個であるため、処理部115は、8個の「リマッピング中ページ番号」の「平均からの乖離度の合計」の合計が0に近く「リマッピング中ページ番号」の組み合わせを選定する。

[0083] その結果、メモリモジュール1に対応した「リマッピング後ページ番号」に、「リマッピング中ページ番号」が15番、4番、2番、7番、3番、18番、30番、13番のページが設定される。メモリモジュール1の「リマッピング後ページ番号」に設定されたページの「平均からの乖離度」の合計は、「-1」である。メモリモジュール2に対応した「リマッピング後ページ番号」に、「リマッピング中ページ番号」が12番、28番、6番、14番、17番、8番、32番、22番のページが設定される。メモリモジュール2の「リマッピング後ページ番号」に設定されたページの「平均からの乖離度」の合計は、「17」である。メモリモジュール3に対応した「リマッピング後ページ番号」に、「リマッピング中ページ番号」が20番、19番、27番、23番、31番、25番、26番、1番のページが設定される。メモリモジュール3の「リマッピング後ページ番号」に設定されたページの「平均からの乖離度」の合計は、「-19」である。メモリモジュール4に対応した「リマッピング後ページ番号」に、「リマッピング中ページ番号」が16番、11番、10番、21番、9番、29番、24番、5番のページが設定される。メモリモジュール4の「リマッピング後ページ番号」に設定されたページの「平均からの乖離度」の合計は、「-8」である。

[0084] 図14Cは、図11のステップS401～ステップS406の処理により温度リストのページ交換回数を減らすための処理の例である。具体的には、まず、処理部115は、各メモリモジュールの「リマッピング後ページ番号

」を評価する。

[0085] メモリモジュール1の「リマッピング後ページ番号」は、メモリモジュール1の「リマッピング中ページ番号」である2番、3番、4番、7番の4つのページを含んでいる。そのため、処理部115は、メモリモジュール1の「リマッピング後ページ番号」に対して評価値4と評価する。

[0086] メモリモジュール2の「リマッピング後ページ番号」は、メモリモジュール1の「リマッピング中ページ番号」である6番、8番の2つのページを含んでいる。メモリモジュール2の「リマッピング後ページ番号」は、メモリモジュール2の「リマッピング中ページ番号」である12番、14番の2つのページを含んでいる。メモリモジュール2の「リマッピング後ページ番号」は、メモリモジュール3の「リマッピング中ページ番号」である17番、22番の2つのページを含んでいる。メモリモジュール2の「リマッピング後ページ番号」は、メモリモジュール4の「リマッピング中ページ番号」である28番、32番の2つのページを含んでいる。そのため、処理部115は、メモリモジュール2の「リマッピング後ページ番号」に対して評価値2と評価する。

[0087] メモリモジュール3の「リマッピング後ページ番号」は、メモリモジュール4の「リマッピング中ページ番号」である25番、26番、27番、31番の4つのページを含んでいる。そのため、処理部115は、メモリモジュール3の「リマッピング後ページ番号」に対して評価値4と評価する。

[0088] メモリモジュール4の「リマッピング後ページ番号」は、メモリモジュール2の「リマッピング中ページ番号」である9番、10番、11番、16番の4つのページを含んでいる。そのため、処理部115は、メモリモジュール4の「リマッピング後ページ番号」に対して評価値4と評価する。

[0089] 処理部115は、評価の高いメモリモジュール1を選定する（ステップS403の処理）。メモリモジュール1の「リマッピング後ページ番号」に含まれる2番、3番、4番、7番は、元々メモリモジュール1に属しているページである。無駄なページ交換を避けるため、処理部115は、メモリモジ

ジュール 1 の「リマッピング後ページ番号」をメモリモジュール 1 に割り当てたままとする。処理部 115 は、メモリモジュール 1 を交換済みとする。

[0090] 次に、処理部 115 は、評価の高いメモリモジュール 3 を選定する。メモリモジュール 3 の「リマッピング後ページ番号」に含まれる 25 番、26 番、27 番、31 番は、元々メモリモジュール 4 に属しているページである。無駄なページ交換を避けるため、処理部 115 は、メモリモジュール 3 の「リマッピング後ページ番号」を、メモリモジュール 4 の「リマッピング後ページ番号」と交換する。以下、交換後のメモリモジュール 3（元のメモリモジュール 4）を、メモリモジュール 3A と称す。交換後のメモリモジュール 4（元のメモリモジュール 3）を、メモリモジュール 4A と称す。処理部 115 は、メモリモジュール 4A を交換済みとする。

[0091] 処理部 115 は、評価の高い交換されたメモリモジュール 3A（元のメモリモジュール 4）を選定する。メモリモジュール 3A の「リマッピング後ページ番号」に含まれる 9 番、10 番、11 番、16 番は、元々メモリモジュール 2 に属しているページである。無駄なページ交換を避けるため、処理部 115 は、メモリモジュール 3A の「リマッピング後ページ番号」を、メモリモジュール 2 の「リマッピング後ページ番号」と交換する。処理部 115 は、メモリモジュール 3A を交換済みとする。

[0092] このように、リマッピング中ページが元々のメモリモジュールの組み合わせに近いものは、元のメモリモジュールに対応づけられた方がページ交換の回数を減らすことができる。

[0093] 図 14D は、メモリモジュール 1 を対象とした図 12 のステップ S501～ステップ S505 の処理により手続きリストを生成する処理の例である。具体的には、まず、処理部 115 は、メモリモジュール 1 を選択する。メモリモジュール 1 の「リマッピング後ページ番号」に含まれる 2 番、3 番、4 番、7 番は、元々メモリモジュール 1 に属しているページである。無駄なページ交換を避けるため、処理部 115 は、「リマッピング後ページ番号」2 番、3 番、4 番、7 番の各ページを元のメモリチップに割り当てる。処理部

115は、リマッピング前後でページ番号が変更になるエントリを手続きリストに移す。図14Dの例では、「リマッピング中ページ番号」と「リマッピング後ページ番号」のペアとして、1番と15番のペア、5番と30番のペア、6番と18番のペア、8番と13番のペアが手続きリストに記載される。1回目の手続きリストへの書き込み処理であるため、手続きリストには、交換順は1と記載される。

[0094] 図14Eは、図12のステップS506～ステップS507により温度リストが更新される処理の例である。具体的には、メモリモジュール1の手続きリストに従ったページ交換の処理を温度リスト内で再現する。そのため、処理部115は、温度リスト内の「リマッピング中ページ番号」において、1番と15番のペア、5番と30番のペア、6番と18番のペア、8番と13番のペアを交換する。

[0095] 図14Fは、メモリモジュール2を対象とした図12のステップS501～ステップS505の処理により手続きリストを生成する処理の例である。具体的には、まず、処理部115は、メモリモジュール2を選択する。メモリモジュール2の「リマッピング後ページ番号」に含まれる9番、10番、11番、16番は、元々メモリモジュール2に属しているページである。無駄なページ交換を避けるため、処理部115は、「リマッピング後ページ番号」9番、10番、11番、16番の各ページを元のメモリチップに割り当てる。処理部115は、リマッピング前後でページ番号が変更になるエントリを手続きリストに移す。図14Fの例では、「リマッピング中ページ番号」と「リマッピング後ページ番号」のペアとして、12番と21番のペア、8番と5番のペア、14番と29番のペア、1番と24番のペアが手続きリストに記載される。2回目の手続きリストへの書き込み処理であるため、手続きリストには、交換順は2と記載される。

[0096] 図14Gは、図12のステップS506～ステップS507により温度リストが更新される処理の例である。具体的には、メモリモジュール2の手続きリストに従ったページ交換の処理を温度リスト内で再現する。そのため、

処理部 115 は、温度リスト内の「リマッピング中ページ番号」において、12番と21番のペア、8番と5番のペア、14番と29番のペア、1番と24番のペアを交換する。

[0097] 図 14 H は、メモリモジュール 3 を対象とした図 12 のステップ S501～ステップ S505 の処理により手続きリストを生成する処理の例である。具体的には、まず、処理部 115 は、メモリモジュール 3 を選択する。メモリモジュール 3 の「リマッピング後ページ番号」に含まれる 17 番、6 番、12 番、22 番は、元々メモリモジュール 3 に属しているページである。無駄なページ交換を避けるため、処理部 115 は、「リマッピング後ページ番号」17 番、6 番、12 番、22 番の各ページを元のメモリチップに割り当てる。処理部 115 は、リマッピング前後でページ番号が変更になるエントリを手続きリストに移す。図 14 H の例では、「リマッピング中ページ番号」と「リマッピング後ページ番号」のペアとして、19 番と 28 番のペア、20 番と 14 番のペア、23 番と 32 番のペア、1 番と 8 番のペアが手続きリストに記載される。3 回目の手続きリストへの書き込み処理であるため、手続きリストには、交換順は 3 と記載される。

[0098] 図 14 I は、図 12 のステップ S506～ステップ S507 により温度リストが更新される処理の例である。具体的には、メモリモジュール 3 の手続きリストに従ったページ交換の処理を温度リスト内で再現する。そのため、処理部 115 は、温度リスト内の「リマッピング中ページ番号」において、19 番と 28 番のペア、20 番と 14 番のペア、23 番と 32 番のペア、1 番と 8 番のペアを交換する。

[0099] 図 14 J は、メモリモジュール 4 を対象とした図 12 のステップ S501～ステップ S505 の処理により手続きリストを生成する処理の例である。具体的には、まず、処理部 115 は、メモリモジュール 4 を選択する。メモリモジュール 4 の「リマッピング後ページ番号」に含まれる全てのページは、元々メモリモジュール 4 と一致するページとなっている。そのため、処理部 115 は、温度リスト及び手続きリストの生成処理を終了する。

[0100] 図15は、リマッピング後のメモリモジュールの第2の例を説明する図である。図15のメモリモジュールは、図14A～図14Jまでで生成された手続きリストに基づいてリマッピングされた後のメモリモジュールである。

[0101] メモリモジュール1のメモリチップ1番には、ページ番号15が割り当てられている。メモリモジュール1のメモリチップ2番には、ページ番号2が割り当てられている。メモリモジュール1のメモリチップ3番には、ページ番号3が割り当てられている。メモリモジュール1のメモリチップ4番には、ページ番号4が割り当てられている。メモリモジュール1のメモリチップ5番には、ページ番号30が割り当てられている。メモリモジュール1のメモリチップ6番には、ページ番号18が割り当てられている。メモリモジュール1のメモリチップ7番には、ページ番号7が割り当てられている。メモリモジュール1のメモリチップ8番には、ページ番号13が割り当てられている。その結果、メモリモジュール1に搭載されたメモリチップの温度の平均は、75.9度となる。

[0102] メモリモジュール2のメモリチップ1番には、ページ番号9が割り当てられている。メモリモジュール2のメモリチップ2番には、ページ番号10が割り当てられている。メモリモジュール2のメモリチップ3番には、ページ番号11が割り当てられている。メモリモジュール2のメモリチップ4番には、ページ番号21が割り当てられている。メモリモジュール2のメモリチップ5番には、ページ番号5が割り当てられている。メモリモジュール2のメモリチップ6番には、ページ番号29が割り当てられている。メモリモジュール2のメモリチップ7番には、ページ番号24が割り当てられている。メモリモジュール2のメモリチップ8番には、ページ番号16が割り当てられている。その結果、メモリモジュール2に搭載されたメモリチップの温度の平均は、75度となる。

[0103] メモリモジュール3のメモリチップ1番には、ページ番号17が割り当てられている。メモリモジュール3のメモリチップ2番には、ページ番号6が割り当てられている。メモリモジュール3のメモリチップ3番には、ページ

番号 28 が割り当てられている。メモリモジュール 3 のメモリチップ 4 番には、ページ番号 14 が割り当てられている。メモリモジュール 3 のメモリチップ 5 番には、ページ番号 12 が割り当てられている。メモリモジュール 3 のメモリチップ 6 番には、ページ番号 22 が割り当てられている。メモリモジュール 3 のメモリチップ 7 番には、ページ番号 32 が割り当てられている。メモリモジュール 3 のメモリチップ 8 番には、ページ番号 8 が割り当てられている。その結果、メモリモジュール 3 に搭載されたメモリチップの温度の平均は、78.1 度となる。

[0104] メモリモジュール 4 のメモリチップ 1 番には、ページ番号 25 が割り当てられている。メモリモジュール 4 のメモリチップ 2 番には、ページ番号 26 が割り当てられている。メモリモジュール 4 のメモリチップ 3 番には、ページ番号 27 が割り当てられている。メモリモジュール 4 のメモリチップ 4 番には、ページ番号 19 が割り当てられている。メモリモジュール 4 のメモリチップ 5 番には、ページ番号 20 が割り当てられている。メモリモジュール 4 のメモリチップ 6 番には、ページ番号 1 が割り当てられている。メモリモジュール 4 のメモリチップ 7 番には、ページ番号 31 が割り当てられている。メモリモジュール 4 のメモリチップ 8 番には、ページ番号 23 が割り当てられている。その結果、メモリモジュール 4 に搭載されたメモリチップの温度の平均は、74.9 度となる。

[0105] 図 13 のリマッピング前のメモリモジュールは、63 度～89 度と各メモリモジュールの温度がばらばらである。一方、図 15 のリマッピング後のメモリモジュールは、74.9～78.1 度と、ほぼ均等な温度となっている。

[0106] 図 16 は、第 2 の実施形態に係るメモリモジュールの例を説明する図である。第 2 の実施形態に示されるメモリモジュール 1、2 は、Master 系（現在使用されている）のメモリモジュールである。一方、メモリモジュール 3、4 は、Slave 系（使用されていない）のメモリモジュールである。Master 系のメモリモジュールは Slave 系のメモリモジュールと

対になっており、Master系のメモリモジュールに書き込まれたデータは同様にSlave系にも書き込まれる。データの読み込みはMaster系からのみ行われるので、Slave系のデータアクセス頻度はMaster系に比べて少ない。データの読み込みが無い分だけデータアクセスが少なくなるため、Slave系のメモリモジュールの温度はMaster系に比べて低くなる。Slave系のメモリモジュール3、4は、Master系のメモリモジュールに故障が発生した場合に替わりに使用される。

[0107] 第2の実施形態に係るメモリモジュールでは、メモリモジュール1、2の温度が均等になるように、Master系のメモリモジュール1、2を対象にリマッピング処理を実行する。Slave系のメモリモジュール3、4には、Master系のメモリモジュール1、2と同じマッピングを実行すればよい。

[0108] 図17は、第3の実施形態に係るメモリモジュールの例を説明する図である。第3の実施形態に示されるメモリモジュール1～4は、図2などのメモリモジュール1～4と同一である。第3の実施形態に係るメモリモジュールでは、メモリモジュール1～4以外に、メモリモジュール5を備える。メモリモジュール5は、予備のメモリモジュールである。

[0109] 図17のように、予備メモリモジュールを情報処理装置が備える場合、メモリモジュールの温度が均等になるように、リマッピングする処理の対象から、該予備のメモリモジュール5は外される。そのため、予備のメモリモジュールを搭載する情報処理装置であっても、例えば、図4のメモリモジュールなどと同じリマッピング処理が実行される。

[0110] 図18は、第4の実施形態に係るメモリモジュールの温度状況を説明する図である。第4の実施形態における情報処理装置は、各メモリチップに割り当てるページの全ての組み合わせから、各組み合わせにおけるメモリモジュールの温度を全体の平均温度に近づける組み合わせを求めることができる。

[0111] 第4の実施形態に係る情報処理装置は、メモリモジュール1とメモリモジュール2を備える。メモリモジュール1とメモリモジュール2は、各々がメ

メモリチップ番号 1～3 のメモリチップを備える。各メモリチップには、ページ番号 1～6 のページが割当てられている。メモリモジュール 1 のメモリチップ 1 番（ページ 1）の温度は、87 度である。メモリモジュール 1 のメモリチップ 2 番（ページ 2）の温度は、42 度である。メモリモジュール 1 のメモリチップ 3 番（ページ 3）の温度は、28 度である。メモリモジュール 2 のメモリチップ 1 番（ページ 4）の温度は、120 度である。メモリモジュール 2 のメモリチップ 2 番（ページ 5）の温度は、74 度である。メモリモジュール 2 のメモリチップ 3 番（ページ 6）の温度は、63 度である。

[0112] 図 19 は、第 4 の実施形態に係るページの組み合わせを求める処理の例を説明する図である。図 19 に示す表は、ページ割り当て、温度のカテゴリーを備える。ページ割り当ては、メモリモジュール 1 と 2 に搭載された各メモリチップに割り当てるページ割り当ての組み合わせの一覧である。

[0113] 6 つのページの組み合わせは、10 通りである。6 つのページの組み合わせは、具体的には、 ${}_6C_3 \div 2!$ の式で求められる。これは、メモリモジュール 1 に割り当てるページを 6 つのページ番号から 3 つ選びだす組み合わせを導出した後に、2 枚のメモリモジュールの順列を除外している。

[0114] また、情報処理装置内のメモリモジュールの枚数を M とし、メモリモジュール内のメモリチップの枚数を C とした場合のページの組み合わせは、以下の式 1 で求められる。

[0115] [数 1]

$$(M \times C)! / (C!)^M \times M! \cdots \text{式 1}$$

[0116] 図 19 に示す温度は、各メモリチップに割り当てられたページの温度を示す。なお、全メモリチップの平均温度は、69 度である。情報処理装置は、全てのページの組み合わせのうち、温度のばらつきが小さい組み合わせを選択する。温度のばらつき具合は、例えば、分散で表される。分散は、以下の式 2 で求められる。

[0117] [数 2]

$$\sum_{i=0}^n \frac{(T_i - A)^2}{n} \cdots \text{式 2}$$

[0118] T_i は、メモリモジュール i の温度である。Aは、全メモリチップの平均温度である。nは、メモリモジュールの枚数である。

[0119] 例えば、図19の組み合わせ1の例では、メモリモジュール1には、ページ1番、2番、3番が割り当てられており、メモリモジュール2には、ページ4番、5番、6番が割り当てられている。すると、メモリモジュール1の平均温度は、52度となる。メモリモジュール2の平均温度は、86度となる。組み合わせ1の分散は、これらの値を式2に代入して、式3のようになる。

[0120] [数3]

$$(52 - 69)^2 \div 2 + (86 - 69)^2 \div 2 = 289 \cdots \text{式3}$$

[0121] 情報処理装置は、全ての組み合わせにおいて分散を算出する。分散（メモリモジュールの温度のちらばり）が最も少ないページの組み合わせに基づいて、ページの交換を実行することで、メモリモジュールの温度が均等となる。その結果、メモリモジュールの冷却に用いられる電力を削減することである。

符号の説明

[0122] 104 メモリモジュール

105 メモリチップ

108 VMM

110 温度リスト

112 手続きリスト

113 EPT

114 仮想環境

115 処理部

116 仮想CPU

117 仮想メモリ

201 情報処理装置

202 CPU

- 203 DIMM
- 204 温度センサ
- 205 システム監視コントローラ
- 206 BIOS ROM
- 207 メモリ管理ユニット

請求の範囲

- [請求項1] 複数のメモリモジュールの温度を測定する温度センサと、
前記複数のメモリモジュールを仮想的に利用可能とする仮想メモリに含まれるページのメモリアドレスに対応付けられた、前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスを、前記複数のメモリモジュールの温度が均等になるように変更する処理部と、を備える
ことを特徴とする情報処理装置。
- [請求項2] 前記処理部は、前記複数のメモリモジュールの温度が均等になるような、ページのメモリアドレスと前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスとの組み合わせが複数ある場合、複数の組み合わせのうちページの交換が少ない組み合わせに基づいてページのメモリアドレスと前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスとを設定する
ことを特徴とする請求項1に記載の情報処理装置。
- [請求項3] 前記処理部は、前記複数の組み合わせのうちページの交換が少ない組み合わせに基づいてページのメモリアドレスと前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスとを設定する際に、ページの競合を回避するためにページ交換の順序を決める
ことを特徴とする請求項2に記載の情報処理装置。
- [請求項4] 前記処理部は、前記複数のメモリモジュールの温度の平均からの温度のちらばり具合を算出し、ちらばり具合が小さいページのメモリアドレスと前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスとの組み合わせを、ページの交換が少ない組み合わせと選択する
ことを特徴とする請求項2に記載の情報処理装置。
- [請求項5] 複数のメモリモジュールの温度を温度センサから取得し、
前記複数のメモリモジュールを仮想的に利用可能とする仮想メモリに含まれるページのメモリアドレスに対応付けられた、前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスを、前記複数のメモリモジュールの温度が均等になるように変更する

ことを特徴とするプロセッサ。

[請求項6] 前記複数のメモリモジュールの温度が均等になるような、ページのメモリアドレスと前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスとの組み合わせが複数ある場合、複数の組み合わせのうちページの交換が少ない組み合わせに基づいてページのメモリアドレスと前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスとを設定する

ことを特徴とする請求項5に記載のプロセッサ。

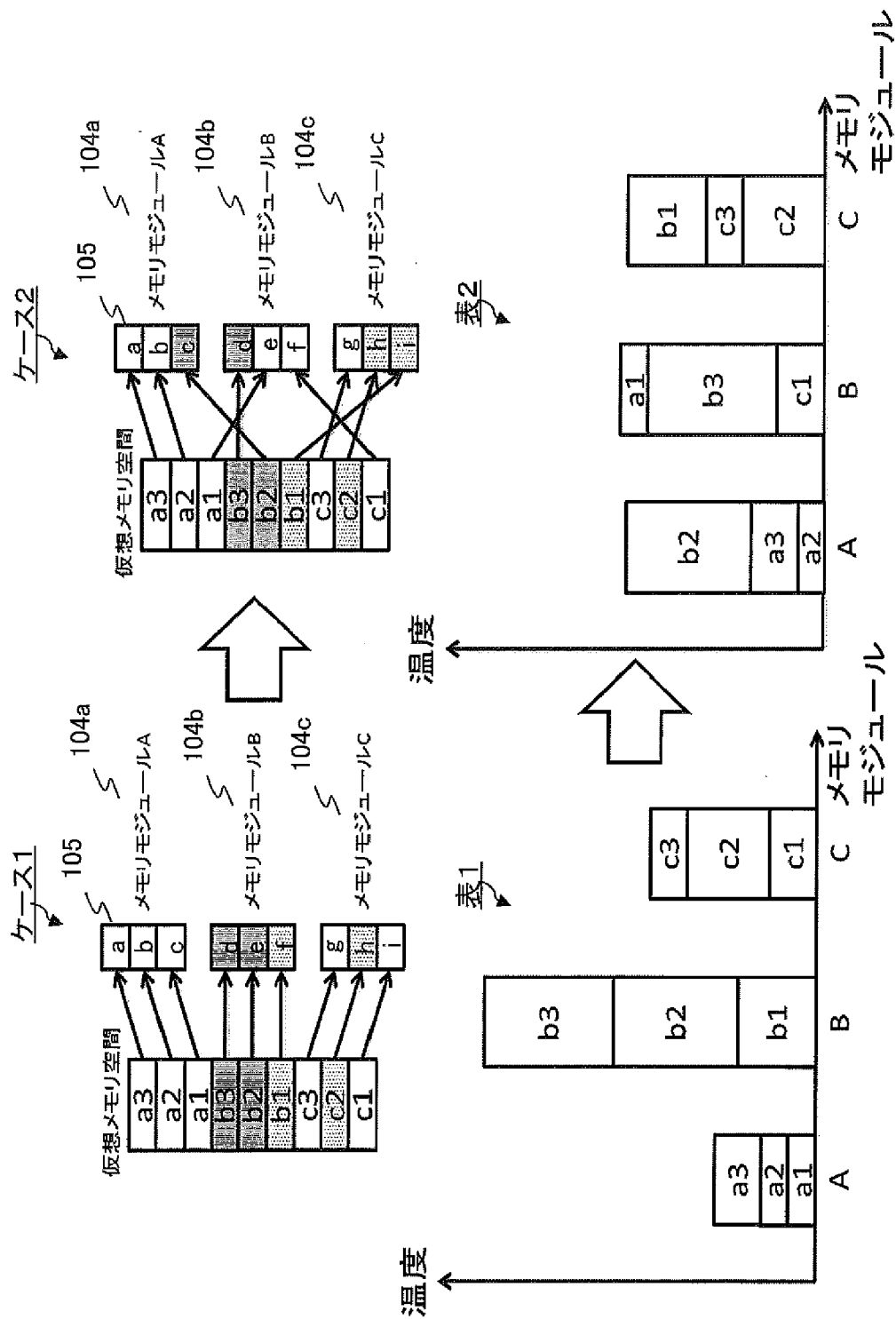
[請求項7] 前記複数の組み合わせのうちページの交換が少ない組み合わせに基づいてページのメモリアドレスと前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスとを設定する際に、ページの競合を回避するためにページ交換の順序を決める

ことを特徴とする請求項6に記載のプロセッサ。

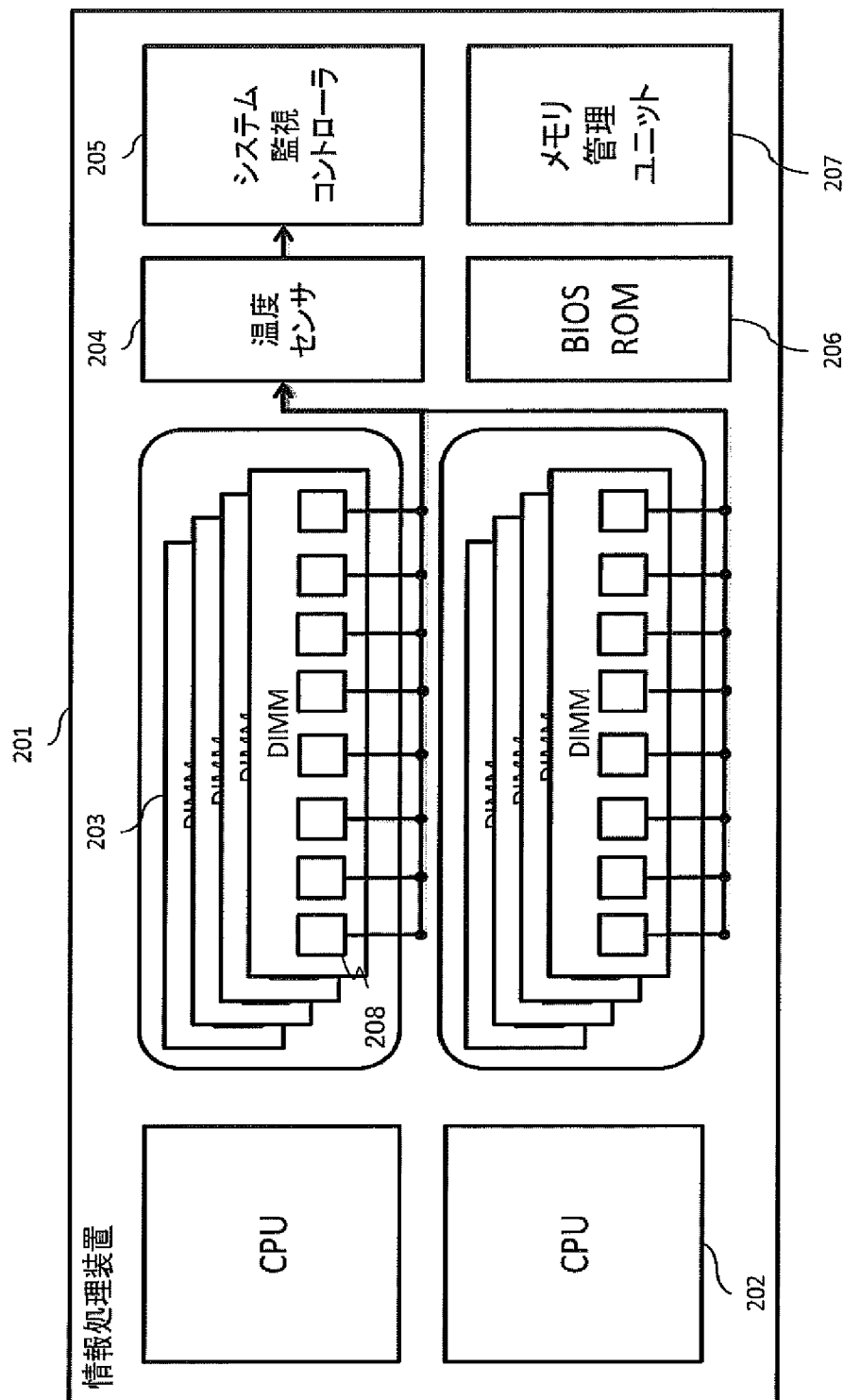
[請求項8] 前記複数のメモリモジュールの温度の平均からの温度のちらばり具合を算出し、ちらばり具合が小さいページのメモリアドレスと前記複数のメモリモジュールのメモリアドレスとの組み合わせを、ページの交換が少ない組み合わせと選択する

ことを特徴とする請求項6に記載のプロセッサ。

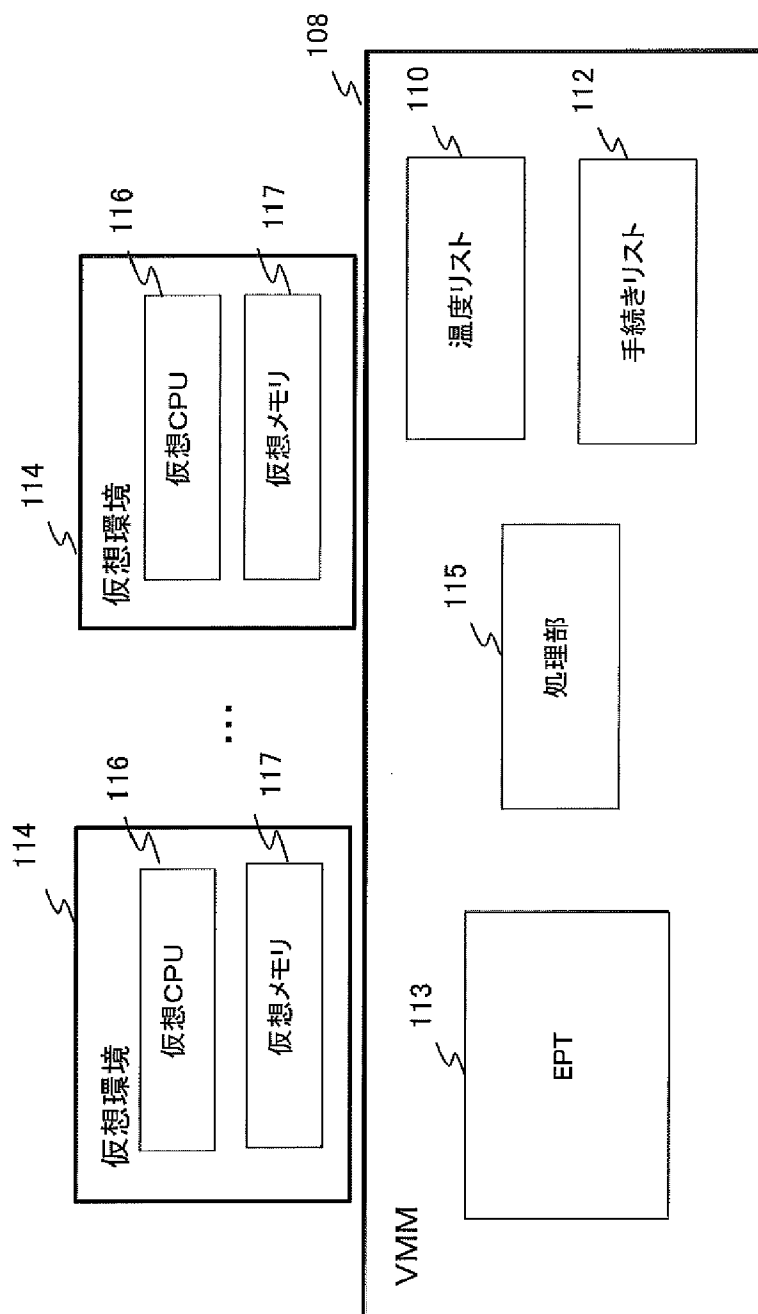
[図1]



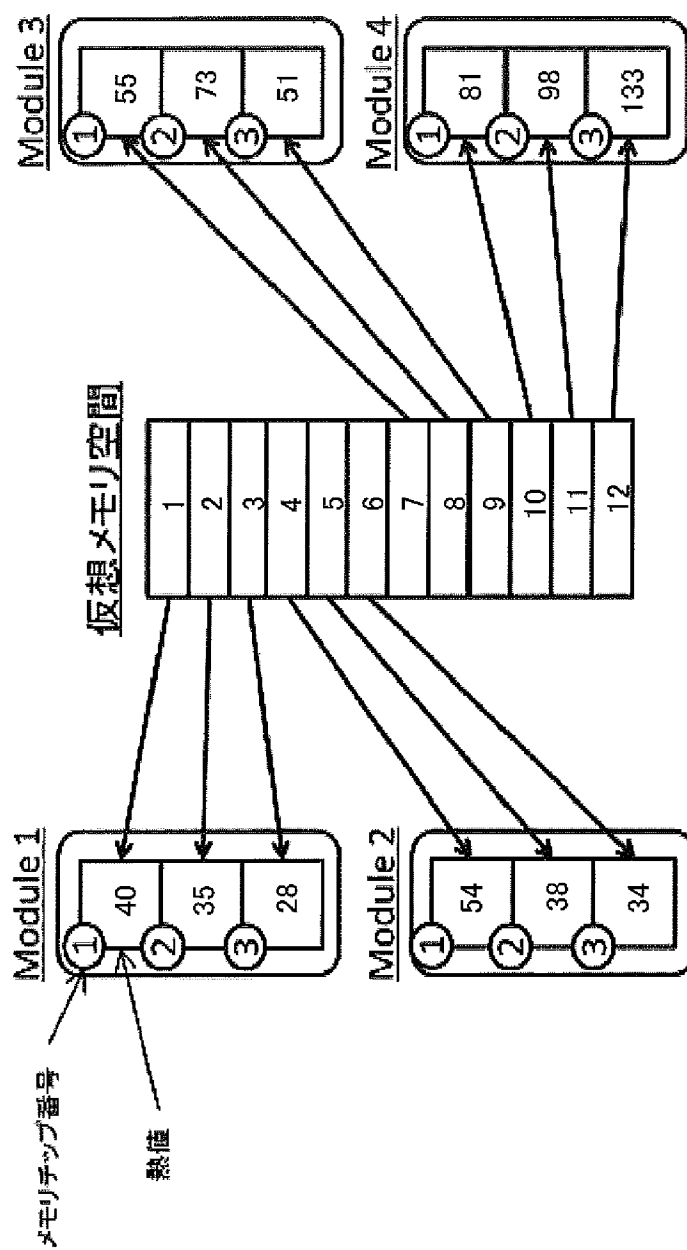
[図2]



[図3]



[図4]



[図5A]

(A1)

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	メモリ チップの 温度	平均 からの 乖離度	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号	選定済み フラグ
1	1					
1	2					
1	3					
2	1					
2	2					
2	3					
3	1					
3	2					
3	3					
4	1					
4	2					
4	3					

(A2)

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	メモリ チップの 温度	平均 からの 乖離度	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号	選定済み フラグ
1	1			1		
1	2			2		
1	3			3		
2	1			4		
2	2			5		
2	3			6		
3	1			7		
3	2			8		
3	3			9		
4	1			10		
4	2			11		
4	3			12		

[図5B]

(A3)

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	メモリ チップの 温度	平均 からの 乖離度	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号	選定済み フラグ
1	1	40		1		
1	2	35		2		
1	3	28		3		
2	1	54		4		
2	2	38		5		
2	3	34		6		
3	1	55		7		
3	2	73		8		
3	3	51		9		
4	1	81		10		
4	2	98		11		
4	3	133		12		

(A4)

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	メモリ チップの 温度	平均 からの 乖離度	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号	選定済み フラグ
1	1	40	-20	1		
1	2	35	-25	2		
1	3	28	-32	3		
2	1	54	-6	4		
2	2	38	-22	5		
2	3	34	-26	6		
3	1	55	-5	7		
3	2	73	13	8		
3	3	51	-9	9		
4	1	81	21	10		
4	2	98	38	11		
4	3	133	73	12		

[図5C]

(A5.2)~
(A5.7)

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	メモリ チップの 温度	平均 からの 乖離度	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号	選定済み フラグ
1	1	40	-20	1	7	
1	2	35	-25	2	8	
1	3	28	-32	3	9	
2	1	54	-6	4		
2	2	38	-22	5		
2	3	34	-26	6		
3	1	55	-5	7		済
3	2	73	13	8		済
3	3	51	-9	9		済
4	1	81	21	10		
4	2	98	38	11		
4	3	133	73	12		

(A5.8)

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	メモリ チップの 温度	平均 からの 乖離度	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号	選定済み フラグ
1	1	40	-20	1	7	済
1	2	35	-25	2	8	
1	3	28	-32	3	9	
2	1	54	-6	4	4	済
2	2	38	-22	5	10	
2	3	34	-26	6	1	
3	1	55	-5	7		済
3	2	73	13	8		済
3	3	51	-9	9		済
4	1	81	21	10		済
4	2	98	38	11		
4	3	133	73	12		

[図5D]

(A5.9)

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	メモリ チップの 温度	平均 からの 乖離度	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号	選定済み フラグ
1	1	40	-20	1	7	済
1	2	35	-25	2	8	済
1	3	28	-32	3	9	
2	1	54	-6	4	4	済
2	2	38	-22	5	10	済
2	3	34	-26	6	1	
3	1	55	-5	7	5	済
3	2	73	13	8	11	済
3	3	51	-9	9	2	済
4	1	81	21	10		済
4	2	98	38	11		済
4	3	133	73	12		

(A5.10)

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	メモリ チップの 温度	平均 からの 乖離度	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号	選定済み フラグ
1	1	40	-20	1	7	済
1	2	35	-25	2	8	済
1	3	28	-32	3	9	済
2	1	54	-6	4	4	済
2	2	38	-22	5	10	済
2	3	34	-26	6	1	済
3	1	55	-5	7	5	済
3	2	73	13	8	11	済
3	3	51	-9	9	2	済
4	1	81	21	10	6	済
4	2	98	38	11	12	済
4	3	133	73	12	3	済

[図6A]

	メモリ モジュール 番号	リマッピング 中 ページ番号	リマッピング 後 ページ番号
未交換 評価値:1	1	1	7
	1	2	8
	1	3	9
未交換 評価値:1	2	4	4
	2	5	10
	2	6	1
未交換 評価値:3	3	7	5
	3	8	11
	3	9	2
未交換 評価値:1	4	10	6
	4	11	12
	4	12	3

[図6B]

	メモリ モジュール 番号	リマッピング 中 ページ番号	リマッピング 後 ページ番号
未交換 評価値:1	1	1	5
	1	2	11
	1	3	2
未交換 評価値:1	2	4	4
	2	5	10
	2	6	1
交換済 評価値:3	3	7	7
	3	8	8
	3	9	9
未交換 評価値:1	4	10	6
	4	11	12
	4	12	3

[図7A]

温度リスト

(C1)

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	1	5
1	2	11
1	3	2
2	4	4
2	5	10
2	6	1
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	10	6
4	11	12
4	12	3

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	1	5
1	2	2
1	3	11
2	4	4
2	5	10
2	6	1
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	10	6
4	11	12
4	12	3

[図7B]

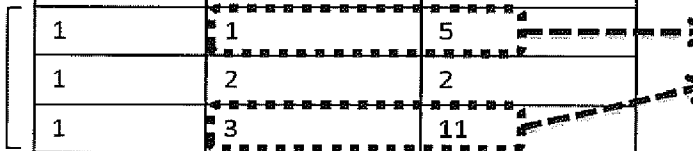
(C2)

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	1	5
1	2	2
1	3	11
2	4	4
2	5	10
2	6	1
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	10	6
4	11	12
4	12	3

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	5	1
3	11	1



[図7C]

(C3) 温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	①	5
1	2	2
1	③	11
2	4	4
2	⑤	10
2	6	1
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	10	6
4	⑪	12
4	12	3

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	5	1
3	11	1

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	5	5
1	2	2
1	11	11
2	4	4
2	1	10
2	6	1
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	10	6
4	3	12
4	12	3

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	5	1
3	11	1

[図7D]

(C4) 温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	5	5
1	2	2
1	11	11
2	4	4
2	1	10
2	6	1
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	10	6
4	3	12
4	12	3

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	5	1
3	11	1

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	5	5
1	2	2
1	11	11
2	4	4
2	1	1
2	6	10
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	10	6
4	3	12
4	12	3

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	5	1
3	11	1

[図7E]

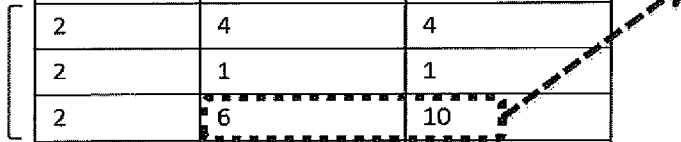
(C5)

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	5	5
1	2	2
1	11	11
2	4	4
2	1	1
2	6	10
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	10	6
4	3	12
4	12	3

手続きリスト

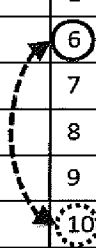
交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	5	1
3	11	1
6	10	2



[図7F]

(C6) 温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	5	5
1	2	2
1	11	11
2	4	4
2	1	1
2	6	10
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	10	6
4	3	12
4	12	3



手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	5	1
3	11	1
6	10	2

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	5	5
1	2	2
1	11	11
2	4	4
2	1	1
2	10	10
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	6	6
4	3	12
4	12	3

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	5	1
3	11	1
6	10	2

[図7G]

(C7) 温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	5	5
1	2	2
1	11	11
2	4	4
2	1	1
2	10	10
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	6	6
4	3	12
4	12	3

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	5	1
3	11	1
6	10	2

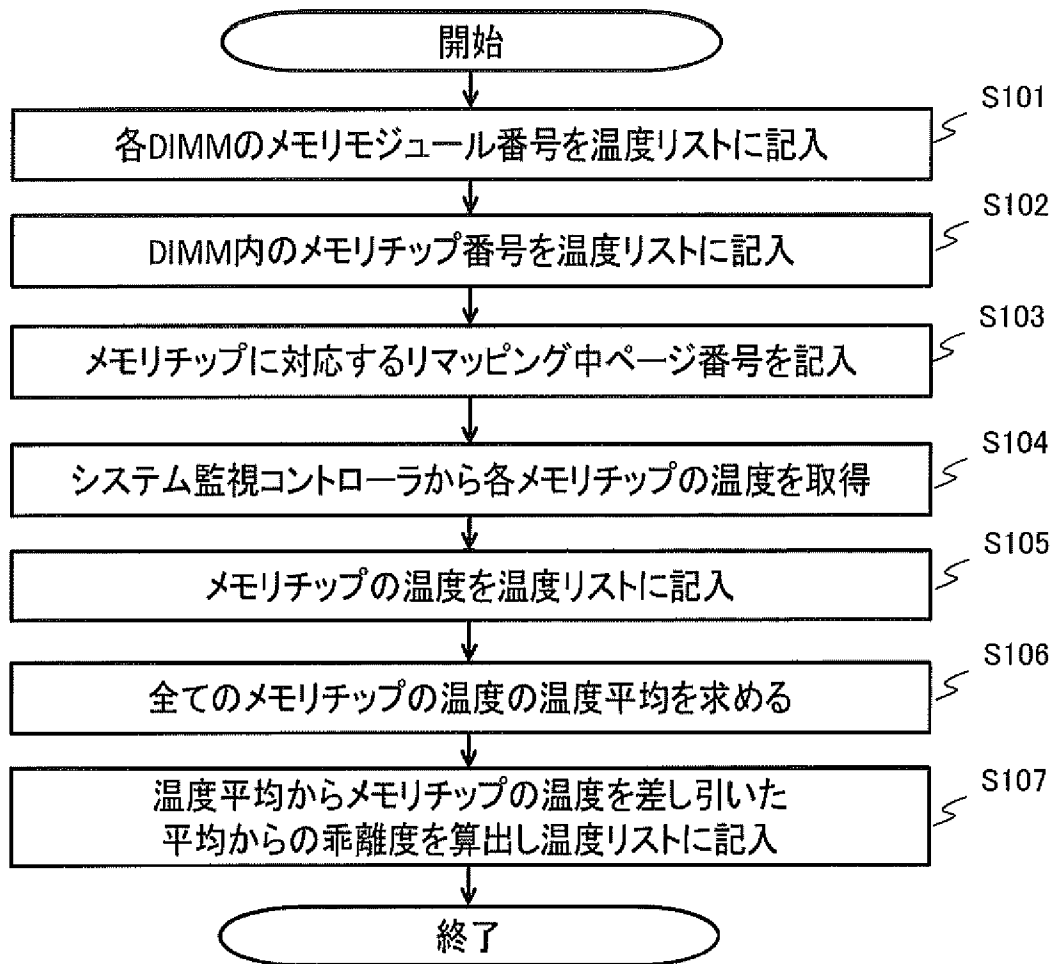
(C8) 温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	5	5
1	2	2
1	11	11
2	4	4
2	1	1
2	10	10
3	7	7
3	8	8
3	9	9
4	6	6
4	3	12
4	12	3

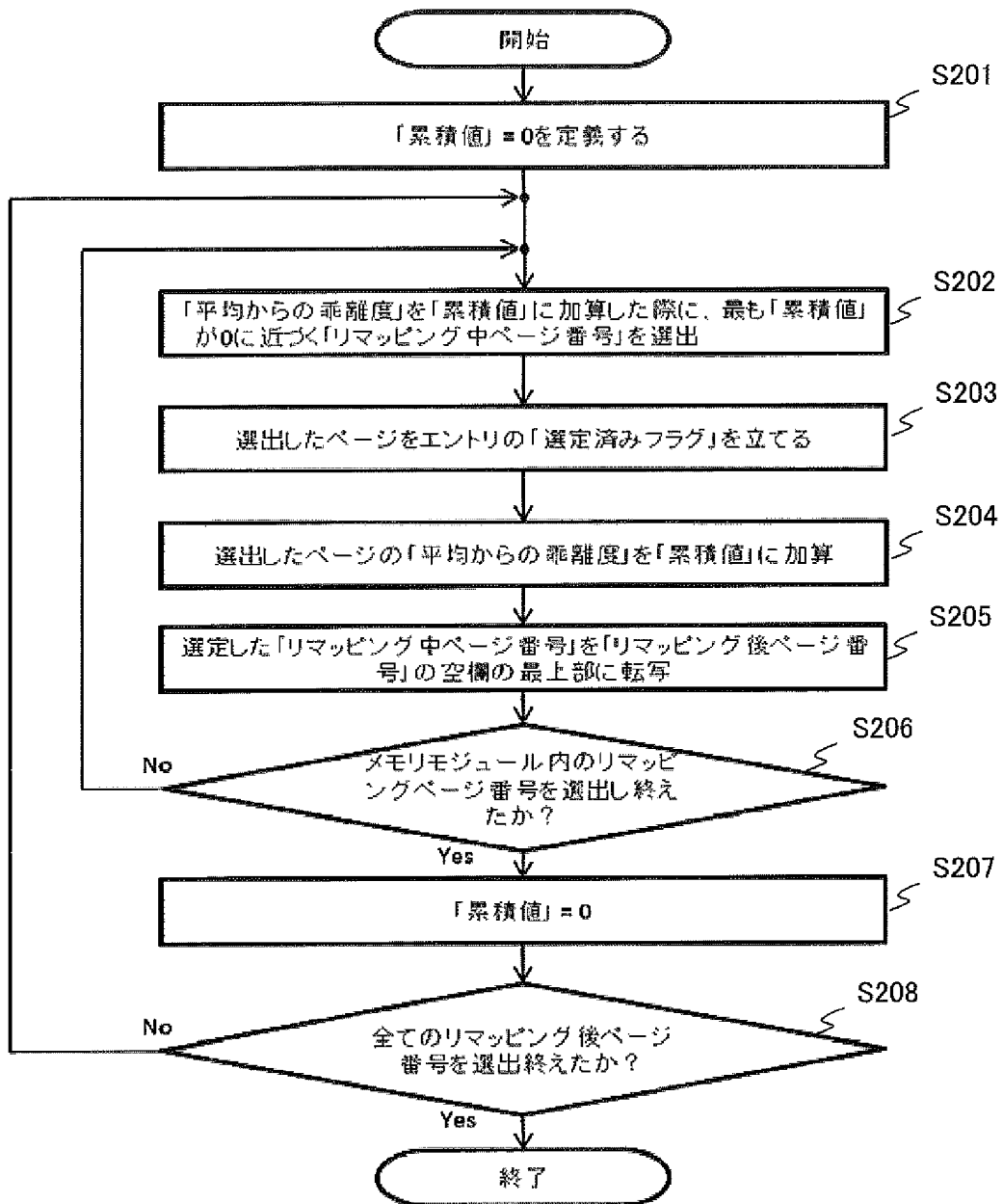
手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	5	1
3	11	1
6	10	2

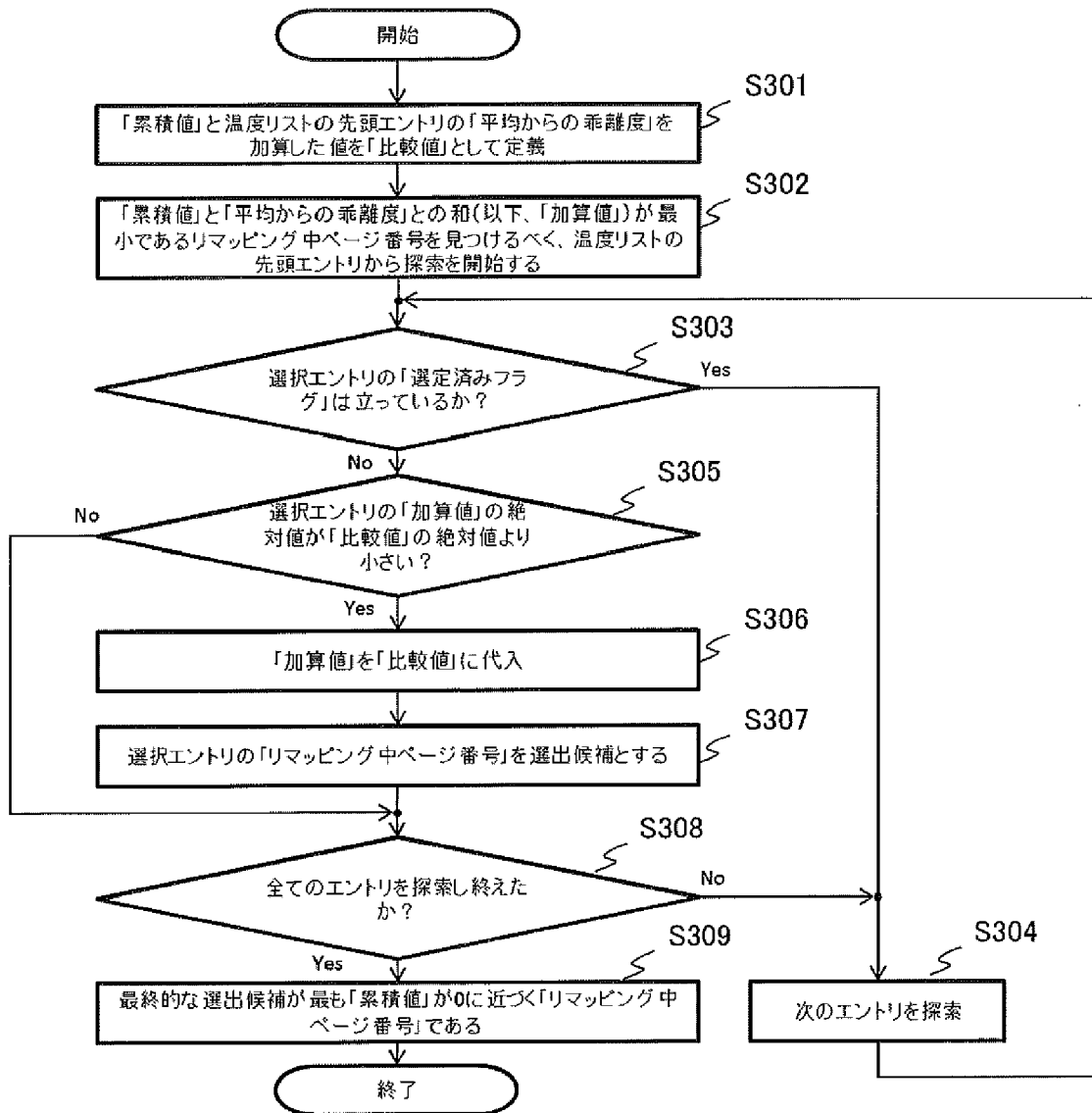
[図8]



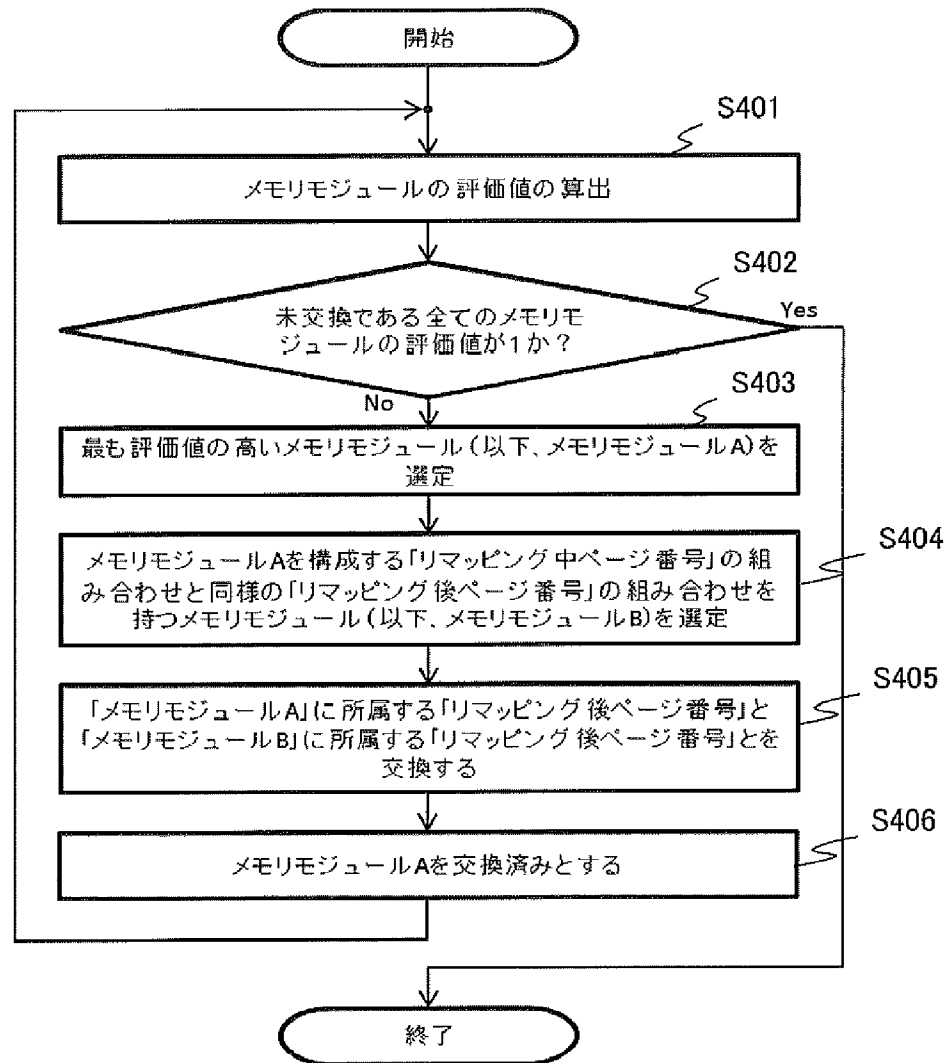
[図9]



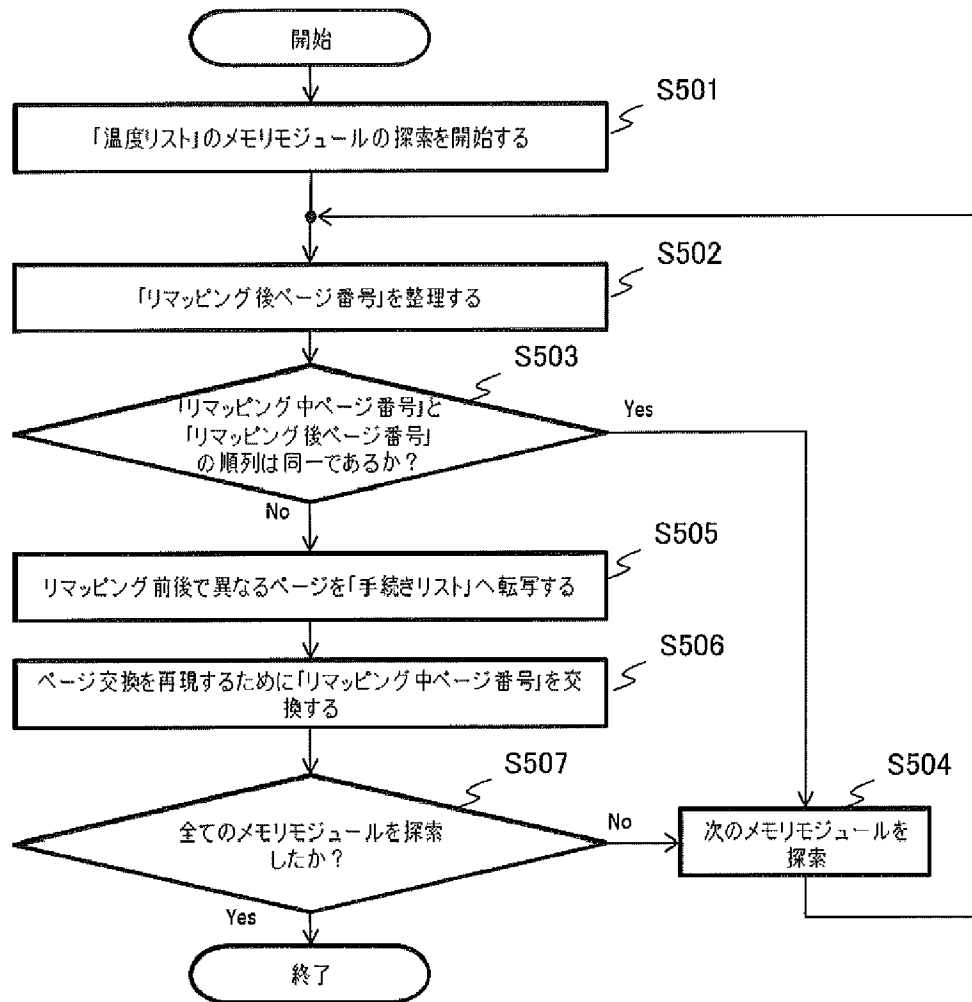
[図10]



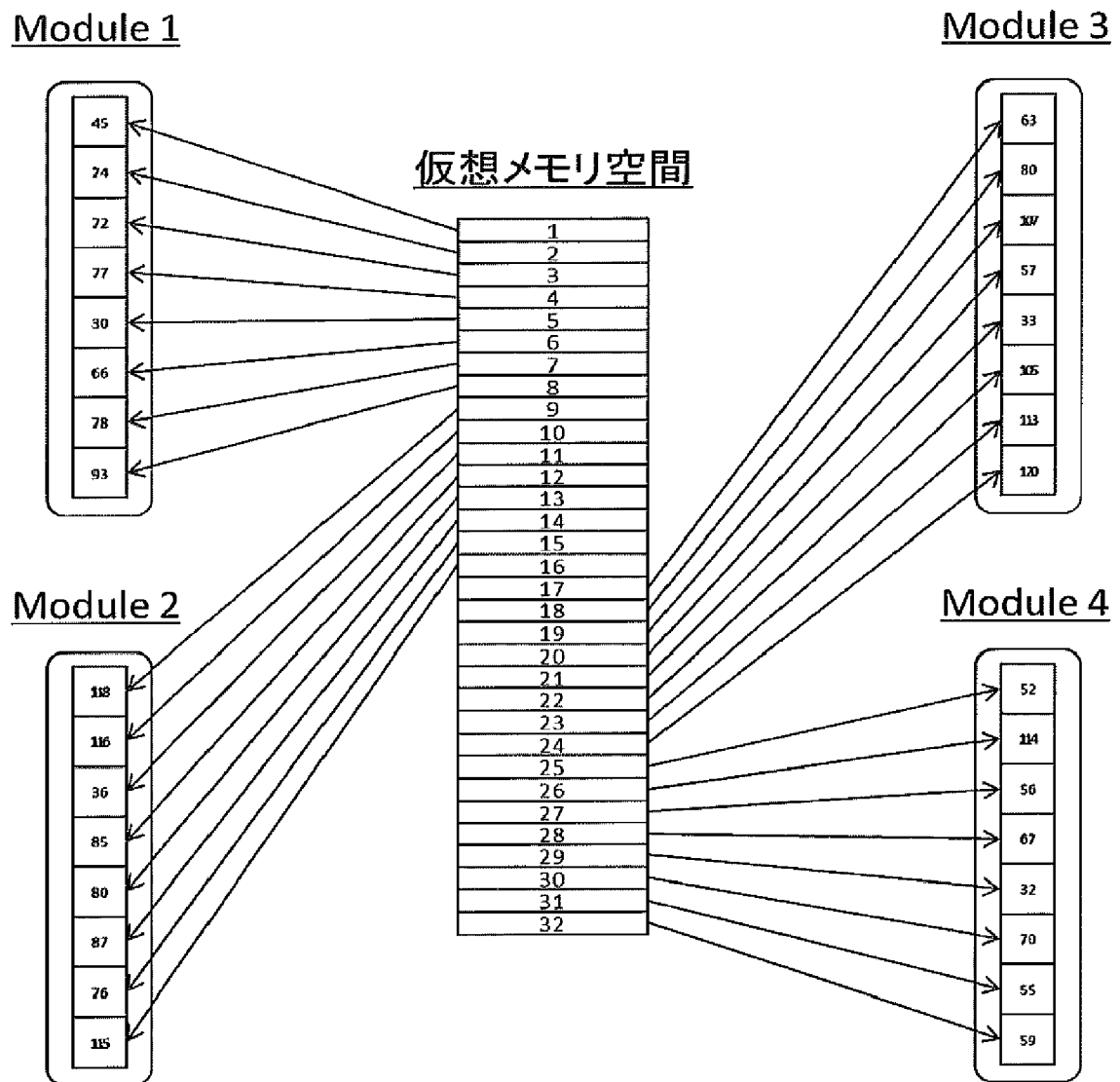
[図11]



[図12]



[図13]



[図14A]

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	メモリ チップの 温度	平均 からの 乖離度	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	1	45	-31	1	
1	2	74	-2	2	
1	3	72	-4	3	
1	4	77	1	4	
1	5	30	-46	5	
1	6	66	-10	6	
1	7	78	2	7	
1	8	93	17	8	
2	1	118	42	9	
2	2	116	40	10	
2	3	36	-40	11	
2	4	85	9	12	
2	5	80	4	13	
2	6	87	11	14	
2	7	76	0	15	
2	8	115	39	16	
3	1	63	-13	17	
3	2	80	4	18	
3	3	107	31	19	
3	4	57	-19	20	
3	5	33	-43	21	
3	6	105	29	22	
3	7	113	37	23	
3	8	120	44	24	
4	1	52	-24	25	
4	2	114	38	26	
4	3	56	-20	27	
4	4	67	-9	28	
4	5	32	-44	29	
4	6	70	-6	30	
4	7	55	-21	31	
4	8	59	-17	32	

[図14B]

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	メモリ チップの 温度	平均 からの 乖離度	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	1	45	-31	1	15
1	2	74	-2	2	4
1	3	72	-4	3	2
1	4	77	1	4	7
1	5	30	-46	5	3
1	6	66	-10	6	18
1	7	78	2	7	30
1	8	93	17	8	13
2	1	118	42	9	12
2	2	116	40	10	28
2	3	36	-40	11	6
2	4	85	9	12	14
2	5	80	4	13	17
2	6	87	11	14	8
2	7	76	0	15	32
2	8	115	39	16	22
3	1	63	-13	17	20
3	2	80	4	18	19
3	3	107	31	19	27
3	4	57	-19	20	23
3	5	33	-43	21	31
3	6	105	29	22	25
3	7	113	37	23	26
3	8	120	44	24	1
4	1	52	-24	25	16
4	2	114	38	26	11
4	3	56	-20	27	10
4	4	67	-9	28	21
4	5	32	-44	29	9
4	6	70	-6	30	29
4	7	55	-21	31	24
4	8	59	-17	32	5

[図14C]

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	メモリ チップの 温度	平均 からの 乖離度	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	1	45	-31	1	15
1	2	74	-2	2	4
1	3	72	-4	3	2
1	4	77	1	4	7
1	5	30	-46	5	3
1	6	66	-10	6	18
1	7	78	2	7	30
1	8	93	17	8	13
2	1	118	42	9	16
2	2	116	40	10	11
2	3	36	-40	11	10
2	4	85	9	12	21
2	5	80	4	13	9
2	6	87	11	14	29
2	7	76	0	15	24
2	8	115	39	16	5
3	1	63	-13	17	12
3	2	80	4	18	28
3	3	107	31	19	6
3	4	57	-19	20	14
3	5	33	-43	21	17
3	6	105	29	22	8
3	7	113	37	23	32
3	8	120	44	24	22
4	1	52	-24	25	20
4	2	114	38	26	19
4	3	56	-20	27	27
4	4	67	-9	28	23
4	5	32	-44	29	31
4	6	70	-6	30	25
4	7	55	-21	31	26
4	8	59	-17	32	1

[図14D]

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	1	15
1	2	2
1	3	3
1	4	4
1	5	30
1	6	18
1	7	7
1	8	13
2	9	16
2	10	11
2	11	10
2	12	21
2	13	9
2	14	29
2	15	24
2	16	5
3	17	12
3	18	28
3	19	6
3	20	14
3	21	17
3	22	8
3	23	32
3	24	22
4	25	20
4	26	19
4	27	27
4	28	23
4	29	31
4	30	25
4	31	26
4	32	1

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	15	1
5	30	1
6	18	1
8	13	1

[図14E]

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	15	15
1	2	2
1	3	3
1	4	4
1	30	30
1	18	18
1	7	7
1	13	13
2	9	16
2	10	11
2	11	10
2	12	21
2	8	9
2	14	29
2	1	24
2	16	5
3	17	12
3	6	28
3	19	6
3	20	14
3	21	17
3	22	8
3	23	32
3	24	22
4	25	20
4	26	19
4	27	27
4	28	23
4	29	31
4	5	25
4	31	26
4	32	1

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	15	1
5	30	1
6	18	1
8	13	1

[図14F]

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	15	15
1	2	2
1	3	3
1	4	4
1	30	30
1	18	18
1	7	7
1	13	13
2	9	9
2	10	10
2	11	11
2	12	21
2	8	5
2	14	29
2	1	24
2	16	16
3	17	12
3	6	28
3	19	6
3	20	14
3	21	17
3	22	8
3	23	32
3	24	22
4	25	20
4	26	19
4	27	27
4	28	23
4	29	31
4	5	25
4	31	26
4	32	1

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	15	1
5	30	1
6	18	1
8	13	1
12	21	2
8	5	2
14	29	2
1	24	2

[図14G]

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	15	15
1	2	2
1	3	3
1	4	4
1	30	30
1	18	18
1	7	7
1	13	13
2	9	9
2	10	10
2	11	11
2	21	21
2	5	5
2	29	29
2	24	24
2	16	16
3	17	12
3	6	28
3	19	6
3	20	14
3	12	17
3	22	8
3	23	32
3	1	22
4	25	20
4	26	19
4	27	27
4	28	23
4	14	31
4	8	25
4	31	26
4	32	1

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	15	1
5	30	1
6	18	1
8	13	1
12	21	2
8	5	2
14	29	2
1	24	2

[図14H]

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	15	15
1	2	2
1	3	3
1	4	4
1	30	30
1	18	18
1	7	7
1	13	13
2	9	9
2	10	10
2	11	11
2	21	21
2	5	5
2	29	29
2	24	24
2	16	16
3	17	17
3	6	6
3	19	28
3	20	14
3	12	12
3	22	22
3	23	32
3	1	8
4	25	20
4	26	19
4	27	27
4	28	23
4	14	31
4	8	25
4	31	26
4	32	1

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	15	1
5	30	1
6	18	1
8	13	1
12	21	2
8	5	2
14	29	2
1	24	2
19	28	3
20	14	3
23	32	3
1	8	3

[図14I]

温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	15	15
1	2	2
1	3	3
1	4	4
1	30	30
1	18	18
1	7	7
1	13	13
2	9	9
2	10	10
2	11	11
2	21	21
2	5	5
2	29	29
2	24	24
2	16	16
3	17	17
3	6	6
3	28	28
3	14	14
3	12	12
3	22	22
3	32	32
3	8	8
4	25	20
4	26	19
4	27	27
4	19	23
4	20	31
4	1	25
4	31	26
4	23	1

手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	15	1
5	30	1
6	18	1
8	13	1
12	21	2
8	5	2
14	29	2
1	24	2
19	28	3
20	14	3
23	32	3
1	8	3

[図14J]

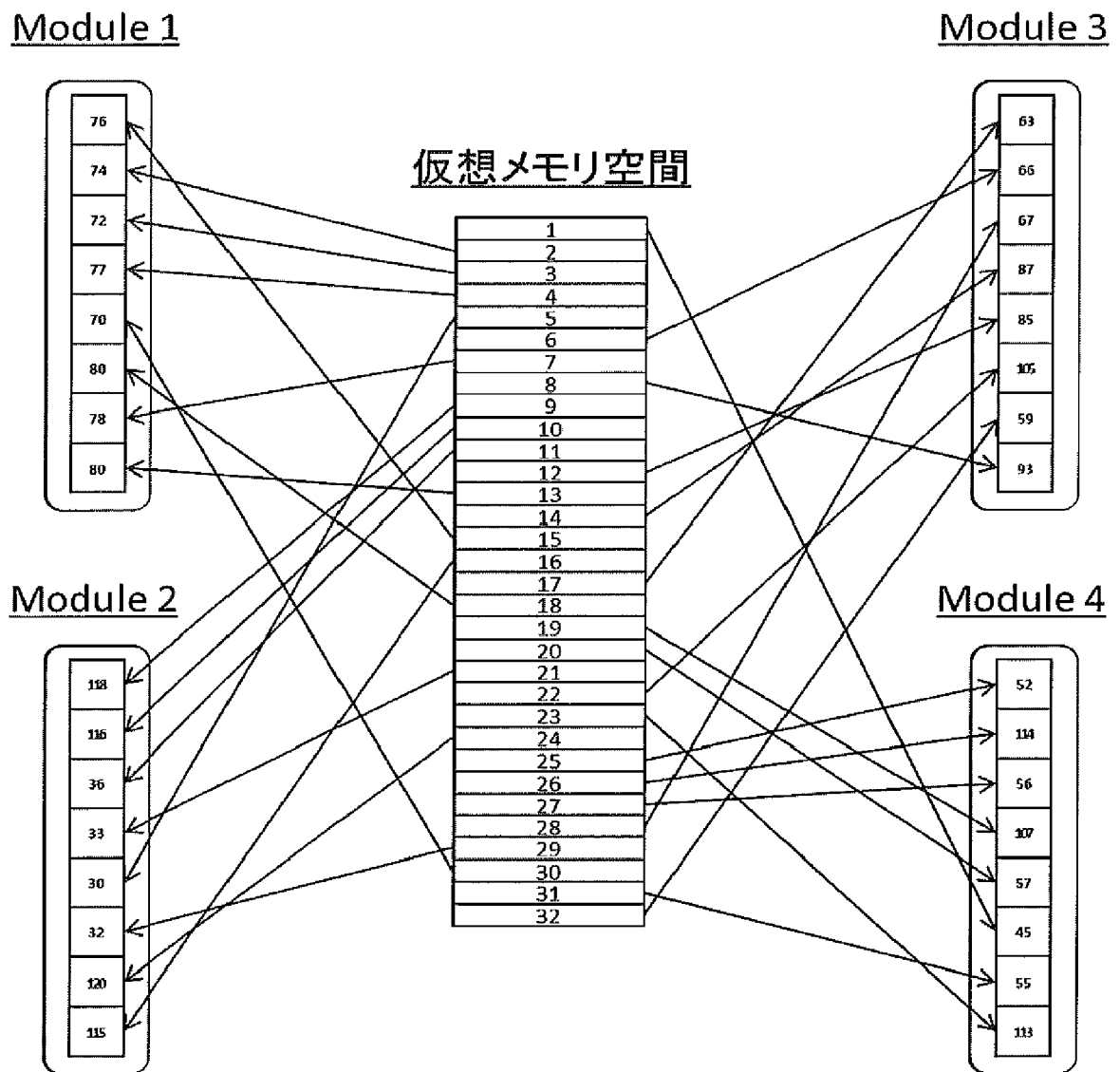
温度リスト

メモリ モジュール 番号	リマッピング中 ページ番号	リマッピング後 ページ番号
1	15	15
1	2	2
1	3	3
1	4	4
1	30	30
1	18	18
1	7	7
1	13	13
2	9	9
2	10	10
2	11	11
2	21	21
2	5	5
2	29	29
2	24	24
2	16	16
3	17	17
3	6	6
3	28	28
3	14	14
3	12	12
3	22	22
3	32	32
3	8	8
4	25	25
4	26	26
4	27	27
4	19	19
4	20	20
4	1	1
4	31	31
4	23	23

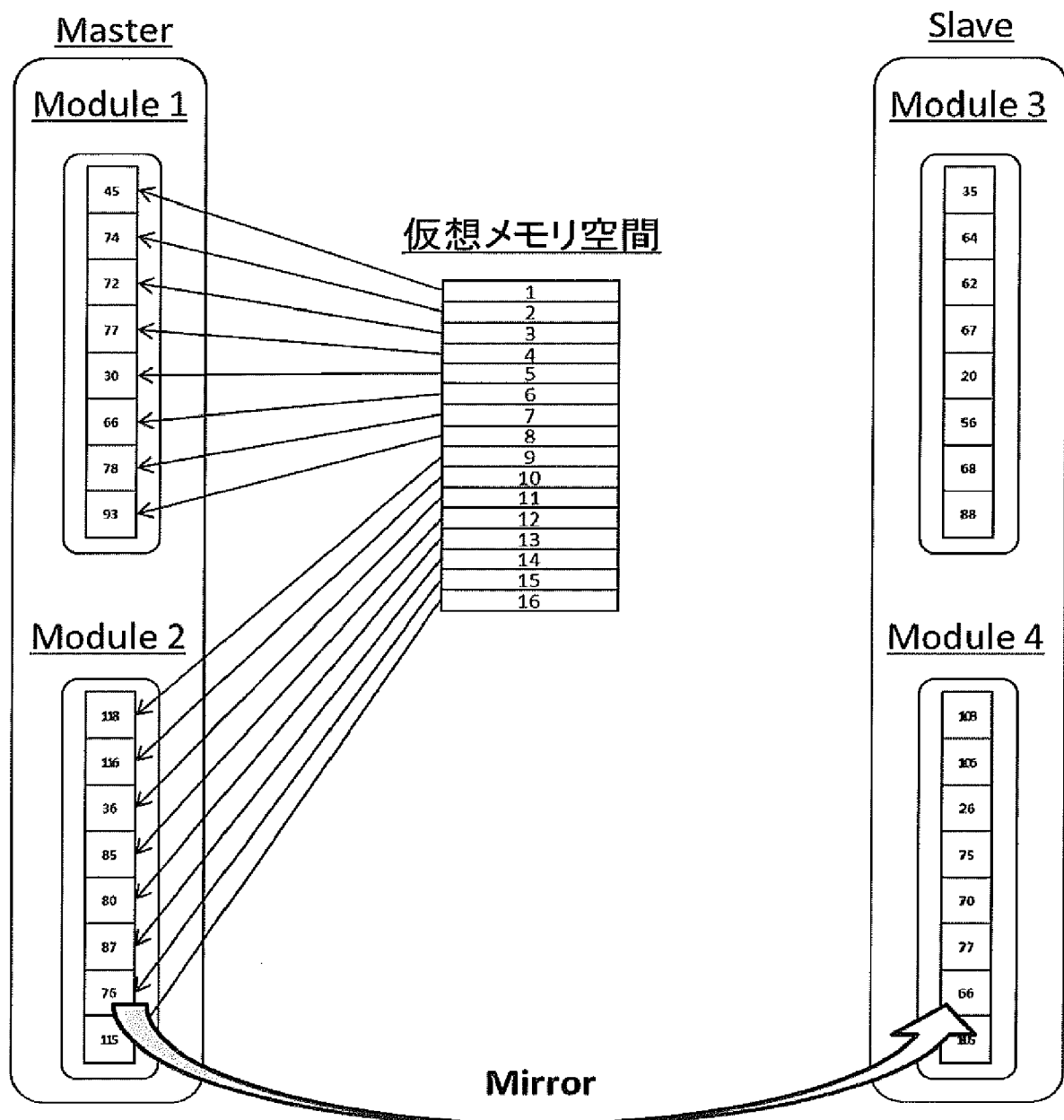
手続きリスト

交換元 ページ 番号	交換先 ページ 番号	交換順
1	15	1
5	30	1
6	18	1
8	13	1
12	21	2
8	5	2
14	29	2
1	24	2
19	28	3
20	14	3
23	32	3
1	8	3

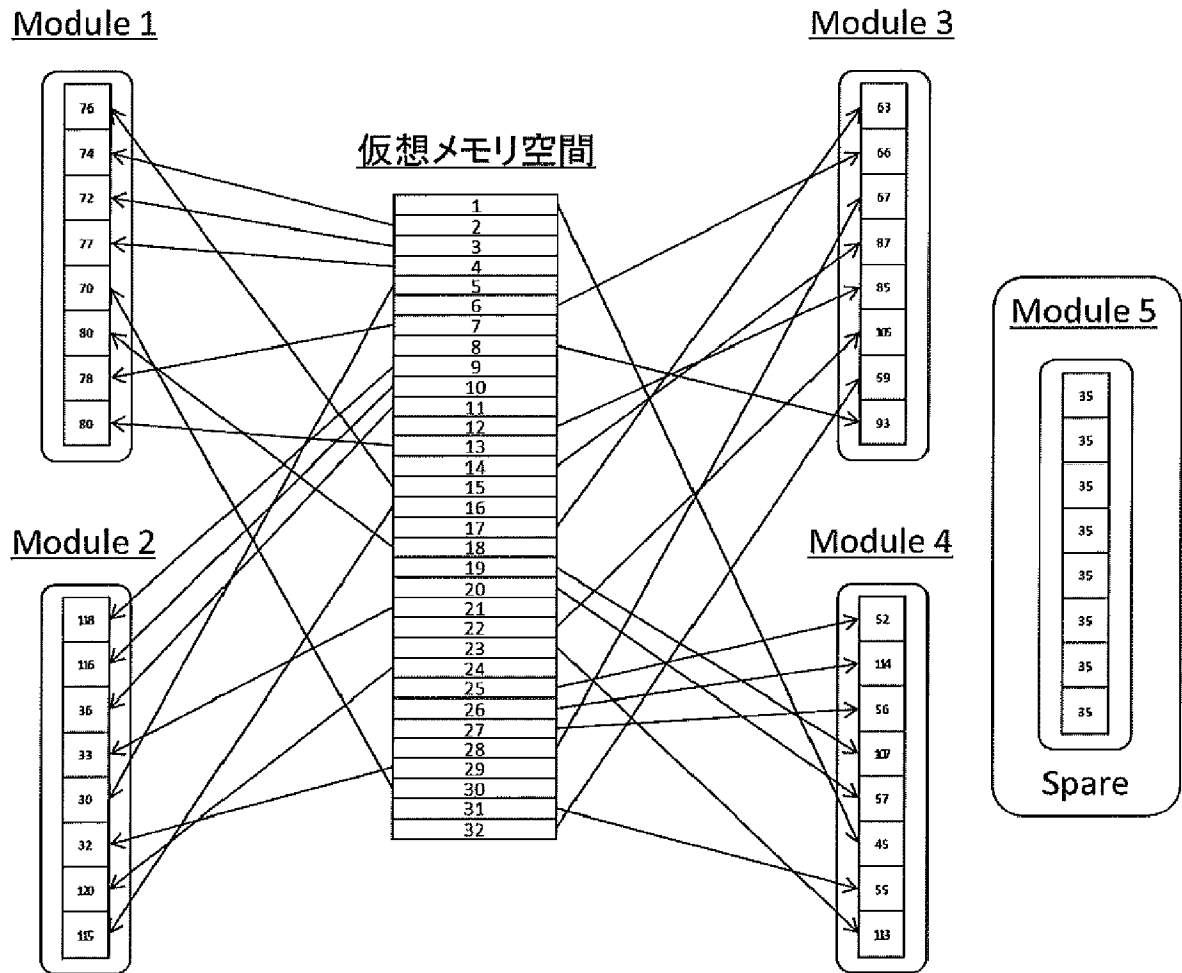
[図15]



[図16]



[図17]



[図18]

メモリ モジュール 番号	メモリ チップ 番号	ページ 番号	メモリ チップの 温度
1	1	1	87
1	2	2	42
1	3	3	28
2	1	4	120
2	2	5	74
2	3	6	63

[図19]

		ページ割り当て						温度									
モジュール		1			2			1				2				分散	
チップ		1	2	3	1	2	3	1	2	3	平均	1	2	3	平均		
組合せ	1	1	2	3	4	5	6	87	42	28	52	120	74	63	86	289	
	2	1	2	4	3	5	6	87	42	120	83	28	74	63	55	196	
	3	1	2	5	3	4	6	87	42	74	68	28	120	63	70	1	
	4	1	2	6	3	4	5	87	42	63	64	28	120	74	74	25	
	5	1	3	4	2	5	6	87	28	120	78	42	74	63	60	81	
	6	1	3	5	2	4	6	87	28	74	63	42	120	63	75	36	
	7	1	3	6	2	4	5	87	28	63	59	42	120	74	79	100	
	8	1	4	5	2	3	6	87	120	74	94	42	28	63	44	625	
	9	1	4	6	2	3	5	87	120	63	90	42	28	74	48	441	
	10	1	5	6	2	3	4	87	74	63	75	42	28	120	63	36	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/063117

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F12/10(2006.01)i, G06F12/02(2006.01)i, G06F12/06(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F12/10, G06F12/02, G06F12/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2012-185764 A (NEC Corp.), 27 September 2012 (27.09.2012), abstract; paragraphs [0007] to [0035]; fig. 1 to 2 (Family: none)	1, 5 2-4, 6-8
A	JP 2011-95974 A (Toshiba Corp.), 12 May 2011 (12.05.2011), paragraphs [0022], [0026], [0028], [0036] to [0038]; fig. 3 & US 2011/0107037 A1	1-8
A	JP 2014-531698 A (Intel Corp.), 27 November 2014 (27.11.2014), abstract; paragraphs [0010] to [0011], [0023] to [0024]; fig. 3, 5 & WO 2013/048518 A1 & US 2013/0275665 A1	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 June 2015 (25.06.15)

Date of mailing of the international search report
07 July 2015 (07.07.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G06F12/10(2006.01)i, G06F12/02(2006.01)i, G06F12/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G06F12/10, G06F12/02, G06F12/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2012-185764 A（日本電気株式会社）2012.09.27, 【要約】、段落【0007】－【0035】、第1－2図	1, 5
A	(ファミリーなし)	2-4, 6-8
A	JP 2011-95974 A（株式会社東芝）2011.05.12, 段落【0022】、段落【0026】、段落【0028】、段落【0036】－【0038】、 第3図 & US 2011/0107037 A1	1-8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 5 . 0 6 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 7 . 0 7 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

酒井 恭信

電話番号 03-3581-1101 内線 3565

5 U

9 1 9 0

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2014-531698 A (インテル コーポレイション) 2014. 11. 27, 【要約】, 段落【0010】－【0011】, 段落【0023】－【0024】, 第3図, 第5図 & WO 2013/048518 A1 & US 2013/0275665 A1	1-8