

(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
2012年2月2日(02.02.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/014511 A1

- (51) 国際特許分類:
G06F 9/50 (2006.01) G06F 12/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/054066
- (22) 国際出願日: 2011年2月24日(24.02.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-172674 2010年7月30日(30.07.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山下 諒蔵 (YAMASHITA Ryozo) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 システム開発研究所内 Kanagawa

(JP). 西山博泰 (NISHIYAMA Hiroyasu) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 システム開発研究所内 Kanagawa (JP). 太田智也 (OHTA Tomoya) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 システム開発研究所内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 平木祐輔, 外 (HIRAKI Yusuke et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門4丁目3番20号 神谷町MTビル19階 Tokyo (JP).

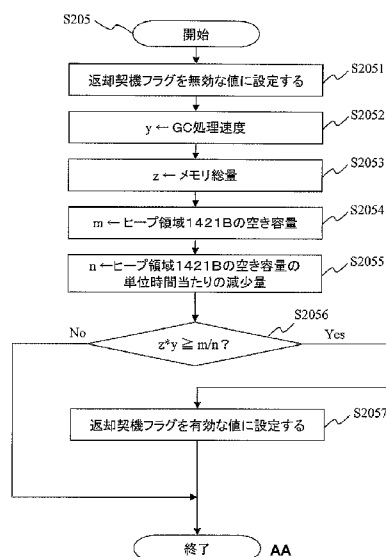
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,

[続葉有]

(54) Title: MEMORY MANAGEMENT METHOD, MEMORY MANAGEMENT PROGRAM, AND COMPUTATION DEVICE

(54) 発明の名称: メモリ管理方法、メモリ管理プログラム、計算機

[図8]
図 8



S205 Start
S2051 Set return opportunity flag to invalid value
S2052 $y \leftarrow$ GC processing speed
S2053 $z \leftarrow$ total amount of memory
S2054 $m \leftarrow$ amount of empty space in heap region (1421B)
S2055 $n \leftarrow$ amount of decrease per unit time in amount of empty space in heap region (1421B)
S2056 $z \cdot y \geq m/n?$
S2057 Set return opportunity flag to valid value
AA End

(57) Abstract: Disclosed is a memory management technique that allows memory capacity to be lent and borrowed between programs while preventing programs that lend memory capacity from running out of memory. In said memory management method, first, memory capacity is allocated to a first program and second program running on a computation device. Next, memory capacity allocated to the second program is reallocated (lent) to the first program. Later, a memory back-allocation request (return request) is sent to the first program, timed such that the memory capacity is back-allocated (returned) from the first program to the second program before the second program runs out of memory to use.

(57) 要約: 本発明は、メモリ容量を貸与する側のプログラムにおいてメモリ容量不足が生じないようにしつつ、プログラム間でメモリ容量を貸し借りすることのできるメモリ管理手法を提供することを目的とする。本発明に係るメモリ管理手法では、初めに計算機上で稼動する第1プログラムおよび第2プログラムにメモリ容量を割り当てる。次に、第2プログラムに割り当てられたメモリ容量を第1プログラムに割り当て直す(貸与する)。その後、第2プログラムが使用するメモリ容量が不足する前に、第1プログラムから第2プログラムへメモリ容量が割り当て戻される(返却される)タイミングで、第1プログラムへメモリ割り当て戻し要求(返却要求)を通知する(図8参照)。



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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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：メモリ管理方法、メモリ管理プログラム、計算機 技術分野

[0001] 本発明は、計算機上で稼動するプログラムに割り当てるメモリ容量を管理する技術に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、計算機において、ハイパーバイザと呼ばれるソフトウェアを用いて、一つの計算機上で複数の仮想的な計算機（仮想マシン）を動作させる構成が普及している。この構成では、実際の計算機（物理マシン）に搭載されている物理メモリは、ハイパーバイザ上で稼動する複数の仮想マシンに割り当てられて使用される。

[0003] 各仮想マシンへ物理メモリを割り当てる量が固定である場合、各仮想マシンが使用することができるメモリ量は変動しない。そのため、仮想マシンの性能は容易に予測することができる。具体的には、ピーク負荷時の性能を確保するため、処理ピーク時に使用される最大メモリ容量を固定的に割り当てる設定が一般的である。この設定の下では、ピーク負荷以外のとき、割り当てたメモリの一部が使用されないまま占有されてしまうため、メモリの利用が非効率となる場合がある。

[0004] 上記問題を解決するため、ハイパーバイザは、仮想マシン上で稼動しているプログラムに対して提供するメモリ容量プールを確保している。ハイパーバイザは、仮想マシンに割り当てられたメモリのうち使用されていない部分の割り当てを解放し、メモリプールに戻す。ハイパーバイザは、プールされているメモリを、他の仮想マシンに必要な応じて割り当てることができる。これにより、計算機全体としてのメモリ利用効率が向上する（非特許文献3参照）。

[0005] なお以下では、上記のように2つのプログラム間で、一方が割り当てメモリ量を減少させ、もう一方が割り当てメモリ量を増加させる処理を、メモリ

の貸与と呼称する場合がある。また、メモリの貸与を実行した後に、割り当てメモリ量を増加させたプログラムが割り当てメモリ量を減少させ、割り当てメモリ量を減少させたプログラムが割り当てメモリ量を増加させる処理を、メモリの返却と呼称する場合がある。また、メモリに限らず他の計算リソースについても、同様に一方が割り当て量を減少させ、もう一方が割り当て量を増加させる処理を、貸与あるいは返却と呼称する場合がある。

[0006] 上記のように、計算機リソースを貸与する際の課題として、貸与した計算機リソースが返却される保証がないことが挙げられる。リソースが返却されない場合、リソース使用量が規定の割当量より少なくても、貸与によって想定外のリソース不足が生じ、性能が低下する可能性がある。そのため、貸与した計算機リソースが返却されない可能性があるとして、仮想マシンの性能を予測することが困難となる。

[0007] 下記特許文献 1 には、返却を保証しつつリソースを貸与する技術が記載されている。同文献は、リソースの中でも、特にネットワーク帯域の貸与に関するものである。同文献では、帯域が不足しているプログラムが他プログラムに対して帯域を貸与するよう要求し、これに対して、未使用帯域が存在するプログラムは貸与量を含んだ応答を返す。この際、各プログラムは貸与先および貸与量に関する情報を記録する。貸与元の通信量がある閾値を超えた場合には、貸与元は貸与終了通知を送信し、貸与先はそれに応じて通信量を削減し、貸与されているリソースを返却する。

[0008] 特許文献 1 に開示されたネットワーク帯域に関する技術をメモリ容量の貸与について適用するには、後述する理由により困難である。その理由について述べる前に、まず、メモリ使用量を削減する種々の代表的な技術について述べる。第 1 に、ガベージコレクション（GC）がある。ガベージコレクションはメモリ上にある各オブジェクトに対して、プログラムから使用される可能性の有無を判定し、使用される可能性がないオブジェクト（以後、ゴミオブジェクトと呼ぶ）を回収する。ガベージコレクションは、Java（登録商標）仮想マシン（Java VM）等で使用されている。

- [0009] ガベージコレクションの基本的な処理は、プログラムが確実に使用するであろうオブジェクト群（参照ルート）を基点としてメモリ上のオブジェクトの参照関係を辿り、最後まで到達できなかったオブジェクトをゴミオブジェクトと判定して、判定されたゴミオブジェクトを回収することにより実施される（非特許文献 1 参照）。
- [0010] 第 2 に、データ圧縮がある。データ圧縮は、データ中に含まれる様々な冗長性を検出し、冗長性の排除を行うことにより、データの内容を保ったまま、必要となる記憶容量が小さい別のデータに変換するものである（非特許文献 2 参照）。
- [0011] 第 3 に、メモリのページング処理がある。ページング処理は、メモリ中のデータを磁気ディスク等の別の記憶媒体に退避するものである。退避したデータが改めて必要になった時には、退避先の記憶媒体からメモリへデータを複製し直すことにより、データをメモリ上に復元することができる。このページング処理により、データをメモリ上に保持し続ける必要がなくなり、メモリ使用量を削減することができる。ハイパーバイザには、仮想マシンが使用するメモリに対するページング処理を提供しているものが存在する（非特許文献 3 参照）。

先行技術文献

特許文献

- [0012] 特許文献 1：特開 2001-94575 号公報

非特許文献

- [0013] 非特許文献 1：Garbage Collection: Algorithms for Automatic Dynamic Memory Management (Richard Jones, Rafael Lins, 1996, John Wiley & Sons Inc, ISBN:978-0471941484)
- 非特許文献 2：Introduction to Data Compression, Third Edition (Khalid Sayood, 2005, Morgan Kaufmann, ISBN: 978-0126208627)
- 非特許文献 3：Carl A. Waldspurger, Memory resource management in VMware ESX server, ACM SIGOPS Operating Systems Review Volume 36, Issue SI

(Winter 2002), p. 181-194

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0014] 上述したように、特許文献 1 に開示されたネットワーク帯域に関する技術をメモリ要領の貸与に適用する場合には、その返却に際して格別の配慮が必要である。すなわち、特許文献 1 に開示するネットワーク帯域であれば、単に通信速度を落とすのみでリソース使用量を削減して貸与元へ返却することができるが、メモリ容量の貸与では、使用しているメモリ容量を突然解放すると、当該メモリ内に格納されているデータが破棄され、プログラムが正常可動しなくなってしまうという問題がある。したがって、メモリ容量を返却する際には、まず使用中のメモリ容量を解放する処理を実施しておく必要がある。

[0015] ここで、メモリ使用量を削減する技術として挙げられている上記非特許文献 1 ～ 3 の技術は、ある程度の実行時間を必要とする。そのため、メモリ容量を貸与した側がメモリ容量を返却するよう要求したとき、返却されるまでに時間がかかり、貸与側でメモリ容量不足が生じる可能性がある。

[0016] 本発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、プログラム間において、メモリ容量の適切な動的配分を実現するメモリ管理手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

[0017] 本発明に係るメモリ管理方法では、初めに計算機上で稼動する第 1 プログラムおよび第 2 プログラムにメモリ容量を割り当てる。次に、第 2 プログラムに割り当てられたメモリ容量を第 1 プログラムに割り当て直す（貸与する）。その後、第 2 プログラムが使用するメモリ容量が不足する前に、第 1 プログラムから第 2 プログラムへメモリ容量が割り当て戻される（返却される）タイミングで、第 1 プログラムへメモリ割り当て戻し要求（返却要求）を通知する。

発明の効果

[0018] 本発明に係るメモリ管理方法によれば、プログラム間におけるメモリ容量の動的配分を適切に行うことができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]実施の形態1に係る計算機100の機能ブロック図である。

[図2]仮想マシン140Aの詳細構成を示す図である。

[図3]仮想マシン140Bの詳細構成を示す図である。

[図4]貸与情報管理テーブル1411Bの構成とデータ例を示す図である。

[図5]メモリ管理プログラム141Aおよび141Bの間でメモリ容量を貸し借りする処理シーケンスを示す図である。

[図6]図5のシーケンス図におけるメモリ管理プログラム141Aの処理フローを示す図である。

[図7]図5のシーケンス図におけるメモリ管理プログラム141Bの処理フローを示す図である。

[図8]ステップS205における詳細処理を説明するフローチャートである。

[図9]実施形態2における仮想マシン140Aの詳細構成を示す図である。

[図10]実施形態2における貸与情報管理テーブル1411Bの構成とデータ例を示す図である。

[図11]ステップS205における詳細処理を説明するフローチャートである。

[図12]実施形態3に係る計算機100の機能ブロック図である。

[図13]実施形態3における仮想マシン140Aの詳細構成を示す図である。

[図14]実施形態3における貸与情報管理テーブル1411Bの構成とデータ例を示す図である。

[図15]ステップS205における詳細処理を説明するフローチャートである。

[図16]実施形態4に係る計算機100の機能ブロック図である。

[図17]実施形態4における仮想マシン140Bの詳細構成を示す図である。

[図18] 仮想マシン140Cの詳細構成を示す図である。

[図19] 実施形態4における貸与情報管理テーブル1411Bの構成とデータ例を示す図である。

[図20] 実施形態4におけるステップS107の詳細を示す図である。

[図21] 実施形態4におけるステップS205の詳細処理を説明するフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0020] <実施の形態1>

図1は、本発明の実施の形態1に係る計算機100の機能ブロック図である。計算機100は、JavaVM142A（第1プログラム）とJavaVM142B（第2プログラム）を実行するコンピュータである。ここでは、JavaVM142BからJavaVM142Aへメモリ容量を貸与する例を説明する。

[0021] 計算機100は、CPU110、記憶部120、メモリ130、ハイパーバイザ150を備える。CPU110は、メモリ130上の記憶領域にハイパーバイザ150を展開して実行する。メモリ130上には、ハイパーバイザ150の配下で、仮想マシン140Aおよび140Bが作成される。

[0022] 仮想マシン140Aおよび140Bは概ね同様の構成を有するため、これらを総称するときは、添字を省略して仮想マシン140と呼ぶ。仮想マシン配下の各構成要素についても同様に、共通する事項を総称的に説明するときは、添字を省略する。

[0023] 以下では、記載の便宜上、ハイパーバイザ150、仮想マシン140、メモリ管理プログラム141などの各プログラムを動作主体として説明する場合があるが、実際にこれらのプログラムを実行するのはCPU110などの演算装置であることを付言しておく。

[0024] ハイパーバイザ150は、メモリ130上に仮想マシン140Aおよび140Bを構成する。ハイパーバイザ150は、計算機100が備えるリソース、すなわちCPU110、記憶部120、メモリ130を、各仮想マシン

に割り当てる。割り当て量は、計算機１００の運用管理者があらかじめ設定しておく。

[0025] 仮想マシン１４０Ａおよび１４０Ｂは、ハイパーバイザ１５０から割り当てられた各計算機リソースを用いて計算機をエミュレートし、仮想的な計算機として動作する。ここでは２台の仮想マシンを例示したが、仮想マシンの数は任意でよい。また、後述するメモリ貸与元となる仮想マシン、およびメモリ貸与先となる仮想マシンの数も任意でよい。

[0026] 仮想マシン１４０Ａの配下では、メモリ管理プログラム１４１Ａ、Java VM １４２Ａ、オペレーティングシステム１４３Ａが動作する。仮想マシン１４０Ｂの配下では、メモリ管理プログラム１４１Ｂ、Java VM １４２Ｂ、オペレーティングシステム１４３Ｂが動作する。

[0027] メモリ管理プログラム１４１Ａは、メモリ管理プログラム１４１Ｂに対して、メモリ容量を貸与するように要求する。メモリ管理プログラム１４１Ｂは、Java VM １４２Ｂが使用していないメモリ領域をメモリ管理プログラム１４１Ａに貸与し、また必要になった時点で返却するように要求する。これら動作の詳細については後述する。

[0028] なお、本実施形態１ではハイパーバイザ１５０が計算機１００のリソースを管理しているため、メモリ管理プログラム１４１は、ハイパーバイザ１５０を介してメモリ容量を貸し借りすることを付言しておく。

[0029] オペレーティングシステム１４３Ａおよび１４３Ｂは、それぞれ仮想マシン１４０Ａおよび１４０Ｂがエミュレートする計算機のオペレーティングシステムである。Java VM １４２ＡおよびJava VM １４２Ｂは、各仮想マシンからメモリ容量の割り当てを受けて動作するアプリケーションプログラムである。

[0030] 図２は、仮想マシン１４０Ａの詳細構成を示す図である。メモリ管理プログラム１４１Ａは、通知受信部１４１２Ａ、情報送信部１４１３Ａ、貸与要求送信部１４１４Ａ、貸与要求契機判定部１４１６Ａを備える。これら各機能部は、メモリ管理プログラム１４１Ａ配下のソフトウェアモジュールなど

の形態で実装することができる。

[0031] 通知受信部 1412A は、メモリ管理プログラム 141B からの通知を受信する。情報送信部 1413A は、Java VM 142A の設定パラメータなどの情報を、メモリ管理プログラム 142B へ送信する。貸与要求契機判定部 1416A は、メモリ容量を貸与するようにメモリ管理プログラム 142B へ要求すべき契機（タイミング）を判定する。貸与要求送信部 1414A は、貸与要求契機判定部 1416A が判定した契機にしたがって、メモリ容量を貸与するようにメモリ管理プログラム 142B へ要求する。

[0032] Java VM 142A は、ヒープ領域 1421A、GC 処理部 1422A、メモリ割り当て変更部 1423A、参照ルート 1424A、Java プログラム実行部 1425A を備える。Java プログラム実行部 1425A は、記憶部 120 から Java プログラム 121 を読み込んで実行する。Java プログラム実行部 1425A は、Java プログラム 121 を実行している途中で必要となったオブジェクトを、ヒープ領域 1421A 内に確保する。また、Java プログラム実行部 1425A は、ヒープ領域 1421A 内のオブジェクトに対する参照経路を参照ルート 1424A に格納し、当該オブジェクトを操作する。

[0033] GC 処理部 1422A は、参照ルート 1424A に格納されている、オブジェクトの参照関係を辿ることにより、使用されていないオブジェクトを特定し、対応するメモリ領域を解放する。そのため、GC 処理の対象となるメモリ量が大きいほど、GC 処理部 1422A の処理時間は増加する。

[0034] 本実施形態 1 では、GC 処理部 1422A による処理時間が対象メモリ量にほぼ比例すると想定し、単位メモリ量当たりの GC 処理時間と対象メモリ量に基づいて、返却要求をいつ発行すべきかの契機を判定する。詳細は後述する。

[0035] 図 3 は、仮想マシン 140B の詳細構成を示す図である。メモリ管理プログラム 141B は、貸与情報管理テーブル 1411B、通知受信部 1412B、返却要求送信部 1415B、返却要求契機判定部 1417B を備える。

これら各機能部は、メモリ管理プログラム 141B 配下のソフトウェアモジュールなどの形態で実装することができる。

[0036] 貸与情報管理テーブル 1411B は、Java VM 142A に関する情報を格納するデータテーブルである。詳細は、後述の図 4 で説明する。通知受信部 1412B は、メモリ管理プログラム 141A からの通知を受信する。返却要求契機判定部 1417B は、貸与したメモリ容量を返却するよう要求すべき契機を判定する。返却要求送信部 1415B は、返却要求契機判定部 1417B が判定した契機にしたがって、メモリ容量を返却するようにメモリ管理プログラム 142A へ要求する。

[0037] 図 4 は、貸与情報管理テーブル 1411B の構成とデータ例を示す図である。貸与情報管理テーブル 1411B は、メモリ容量の貸し借りに関連する情報を格納するデータテーブルであり、貸与量フィールド 14111B、貸与先メモリ総量フィールド 14112B、GC 処理速度フィールド 14113B を有する。

[0038] 貸与量フィールド 14111B は、Java VM 142A に対して Java VM 142B が貸与しているメモリ容量の値を保持する。

[0039] 貸与先メモリ総量フィールド 14112B は、メモリ容量を貸与する先で使用するメモリ総量の値を保持する。ここでは、Java VM 142A のヒープ領域 1421A の容量が相当する。本フィールドを設けているのは、Java VM 142A が Java VM 142B から借りているメモリ容量を返却する際に、GC 処理を実施する必要があることに鑑みたものである。GC 処理の実行時間は、解放すべきヒープ領域 1421A のサイズに依拠するため、本フィールドを設けて解放時間を予測するために用いることとした。

[0040] GC 処理速度フィールド 14113B は、Java VM 142A の GC 処理部 1422A がヒープ領域 1421A の単位メモリ量（ここでは MB）に対して GC 処理を実施するために要する時間を保持する。

[0041] 貸与先メモリ総量フィールド 14112B の値と GC 処理速度フィールド 14113B の値を参照することにより、Java VM 142A の GC 処理

部 1 4 2 2 A がヒープ領域 1 4 2 1 A を G C 処理によって解放するために要する時間が分かる。本実施形態 1 では、この時間を、J a v a V M 1 4 2 A が借りているメモリ容量を返却するのに要する時間であるとみなす。メモリ管理プログラム 1 4 1 B は、メモリ管理プログラム 1 4 1 A に対してメモリ返却要求を発行する際に、この時間を勘案して早目に返却要求を発行する。

[0042] 本実施形態 1 における「割当部」「返却部」は、メモリ管理プログラム 1 4 1 A と 1 4 1 B、およびこれらを実行する C P U 1 1 0 が相当する。

[0043] 以上、本実施形態 1 に係る計算機 1 0 0 の構成を説明した。次に、計算機 1 0 0 の全体的な動作、および各メモリ管理プログラム 1 4 1 間でメモリ容量を貸し借りする動作について説明する。

[0044] 計算機 1 0 0 の運用管理者は、ハイパーバイザ 1 5 0 に対し、仮想マシン 1 4 0 A および仮想マシン 1 4 0 B をメモリ 1 3 0 上に生成するよう指示する。運用管理者は、仮想マシン 1 4 0 A 上でオペレーティングシステム 1 4 3 A を起動し、J a v a V M 1 4 2 A を実行する。また、運用管理者は、仮想マシン 1 4 0 B 上でオペレーティングシステム 1 4 3 B を起動し、J a v a V M 1 4 2 B を実行する。

[0045] 情報送信部 1 4 1 3 A は、J a v a V M 1 4 2 A が起動する時に、通知受信部 1 4 1 2 B に対して、ヒープ領域 1 4 2 1 A のサイズ、G C 処理部 1 4 2 2 A が単位メモリ量当たりの G C 処理に要する時間を通知する。これらの値は、あらかじめ運用管理者等が指定して J a v a V M 1 4 2 の設定ファイルなどに記述しておく。あるいは、情報送信部 1 4 1 3 A が、G C 処理部 1 4 2 2 A に G C 処理を実行させ、その際に計測した処理時間を通知受信部 1 4 1 2 B に通知することも考えられる。通知を受けた通知受信部 1 4 1 2 B は、その内容を貸与情報管理テーブル 1 4 1 1 B の各フィールドに格納する。

[0046] なお、情報送信部 1 4 1 3 A は、J a v a V M 1 4 2 A が起動する時に代えて、またはこれと併用して、J a v a V M 1 4 2 A が稼働している間に、所定時間間隔で上記各情報を通知するようにしてもよい。

[0047] 図5は、メモリ管理プログラム141Aおよび141Bの間でメモリ容量を貸し借りする処理シーケンスを示す図である。以下、図5の各ステップについて説明する。説明の便宜上、仮想マシン140A側の処理にはステップ番号100番台を付与し、仮想マシン140B側の処理にはステップ番号200番台を付与した。

[0048] (図5：ステップS101)

貸与要求契機判定部1416Aは、所定時間間隔でヒープ領域1421Aの空き容量と所定閾値を比較し、空き容量が閾値を下回っていれば、メモリ管理プログラム141Bに対してメモリ貸与要求を発行すべき契機であると判定する。あるいは、Javaプログラム実行部1425Aの処理によりヒープ領域1421Aの空き容量が減少した契機で、JavaVM142Aが貸与要求契機判定部1416Aに対し、メモリ貸与要求を発行すべきか否かを判定するよう要求してもよい。

[0049] (図5：ステップS101：補足)

本ステップにおいて貸与要求の契機を判定する方法は、ヒープ領域1421Aの空き容量と閾値を比較する手法に限定されるものではない。

[0050] (図5：ステップS102)

貸与要求送信部1414Aは、通知受信部1412Bに貸与要求を通知する。貸与要求内に、貸与するよう要求するメモリ量を記述してもよい。

[0051] (図5：ステップS201)

通知受信部1412Bは、貸与要求送信部1414Aが送信した貸与要求を受信する。通知受信部1412Bは、JavaVM142Bに対し、ヒープ領域1421Bを使用する量を減少させるよう要求する。

[0052] (図5：ステップS202)

JavaVM142Bのメモリ割り当て変更部1423Bは、ヒープ領域1421Bのサイズを減少させる。メモリ割り当て変更部130Bは、ヒープ領域1421Bのサイズを減少させる量を、ヒープ領域1421Bが使用されている量に基づき決定する。あるいは、貸与要求送信部1414Aが送

信した貸与要求内で、貸与すべきメモリ量が指定されている場合、その量に基づいてヒープ領域 1 4 2 1 B のサイズ減少量を決定してもよい。

[0053] (図 5 : ステップ S 2 0 2 : 補足)

メモリ割り当て変更部 1 4 2 3 B は、ヒープ領域 1 4 2 1 B のサイズを減少させる際に J a v a V M 1 4 2 B の再起動など必要な処理がある場合は、適宜実施する。また、本実施形態 1 では、各仮想マシン 1 4 0 はハイパーバイザ 1 5 0 を介して物理メモリ 1 3 0 の割り当てを受けているので、ヒープ領域 1 4 2 1 B のサイズを削減した分は、ハイパーバイザ 1 5 0 のメモリプールに戻されることになる。

[0054] (図 5 : ステップ S 2 0 3)

ヒープ領域 1 4 2 1 B のサイズを減少させた後、通知受信部 1 4 1 2 B は、ヒープ領域 1 4 2 1 B のサイズ減少量を含む応答を、貸与要求送信部 1 4 1 4 A に返す。このとき、通知受信部 1 4 1 2 B は、貸与情報管理テーブル 1 4 1 1 B の貸与量フィールド 1 4 1 1 1 B の値を、ヒープ領域 1 4 2 1 B のサイズ減少量分だけ増加させる。

[0055] (図 5 : ステップ S 1 0 3)

貸与要求送信部 1 4 1 4 A は、通知受信部 1 4 1 2 B が送信した応答を受信する。貸与要求送信部 1 4 1 4 A は、J a v a V M 1 4 2 A に対し、ヒープ領域 1 4 2 1 A のサイズを増加させるよう指示する。

[0056] (図 5 : ステップ S 1 0 4)

J a v a V M 1 4 2 A のメモリ割り当て変更部 1 4 2 3 A は、ヒープ領域 1 4 2 1 A のサイズを、ステップ S 2 0 2 で増加した分のメモリ容量の分だけ増加させる。本ステップが完了すると、J a v a V M 1 4 2 B に割り当てられたメモリ容量を J a v a V M 1 4 2 A に一時的に割り当て直したことになる。

[0057] (図 5 : ステップ S 1 0 4 : 補足)

メモリ割り当て変更部 1 4 2 3 A は、ヒープ領域 1 4 2 1 A のサイズを増加させる際に J a v a V M 1 4 2 A の再起動など必要な処理がある場合は、

適宜実施する。また、本実施形態 1 では、各仮想マシン 140 はハイパーバイザ 150 を介して物理メモリ 130 の割り当てを受けているので、ヒープ領域 1421A のサイズ増加分は、ハイパーバイザ 150 のメモリプールから割り当てを受けることになる。

[0058] (図 5 : ステップ S105、S204)

Java VM 142A および 142B は、Java プログラム 121 を実行する。

[0059] (図 5 : ステップ S205)

返却要求契機判定部 1417B は、所定時間間隔で、メモリ管理プログラム 141A に貸与したメモリ容量を返却するよう要求すべきか否かを判定する。あるいは、Java プログラム実行部 1425B の処理によりヒープ領域 1421B の空き容量が減少した契機で、Java VM 142B が返却要求契機判定部 1417B に対し、メモリ返却要求を発行すべきか否かを判定するよう要求してもよい。

[0060] (図 5 : ステップ S206)

返却要求送信部 1415B は、返却要求を送信すべきと返却要求契機判定部 1417B が判定した時点で、通知受信部 1412A に返却要求を送信する。この返却要求内で、返却を要求するメモリ量を指定してもよい。

[0061] (図 5 : ステップ S106)

通知受信部 1412A は、返却要求送信部 1415B が送信した返却要求を受信する。通知受信部 1412A は、Java VM 142A に対し、ヒープ領域 1421A を使用する量を減少させるよう要求する。

[0062] (図 5 : ステップ S107)

Java VM 142A の GC 処理部 1422A は、ヒープ領域 1421A に対して GC 処理を実施する。メモリ割り当て変更部 1423A は、ヒープ領域 1421A のサイズを減少させる。

[0063] (図 5 : ステップ S108)

通知受信部 1412A は、ヒープ領域 1421A のサイズ減少量を含む応

答を、返却要求送信部 1 4 1 5 B に返す。

[0064] (図 5 : ステップ S 2 0 7)

返却要求送信部 1 4 1 5 B は、通知受信部 1 4 1 2 A が送信した応答を受信する。返却要求送信部 1 4 1 5 B は、J a v a V M 1 4 2 B に対し、ヒープ領域 1 4 2 1 B のサイズを増加させるよう指示する。また、貸与情報管理テーブル 1 4 1 1 B の貸与量フィールド 1 4 1 1 1 B の値を、ヒープ領域 1 4 2 1 A のサイズ減少量分だけ減少させる。

[0065] (図 5 : ステップ S 2 0 8)

J a v a V M 1 4 2 B のメモリ割り当て変更部 1 4 2 3 B は、ヒープ領域 1 4 2 1 B のサイズを、ヒープ領域 1 4 2 1 A のサイズ減少量分だけ増加させる。本ステップが完了すると、J a v a V M 1 4 2 A に一時的に割り当て直したメモリ容量を J a v a V M 1 4 2 B に割り当て戻したことになる。

[0066] 図 6 は、図 5 のシーケンス図におけるメモリ管理プログラム 1 4 1 A の処理フローを示す図である。以下、図 6 の各ステップについて説明する。なお、図 5 と同じステップについては同じステップ番号を付与した。

[0067] (図 6 : ステップ S 1 0 0)

メモリ管理プログラム 1 4 1 A は、所定時間間隔、J a v a V M 1 4 2 A が貸与要求契機判定部 1 4 1 6 A に契機判定を要求した時点、あるいは通知受信部 1 4 1 2 A が返却要求送信部 1 4 1 5 B からメモリ返却要求を受けた時点などの所定タイミングで、本処理フローを開始する。

[0068] (図 6 : ステップ S 1 0 6)

メモリ管理プログラム 1 4 1 A は、返却要求送信部 1 4 1 5 B からメモリ返却要求を受信したか否かを判定する。受信した場合はステップ S 1 0 7 へ進み、受信していない場合はステップ S 1 0 1 へスキップする。

[0069] (図 6 : ステップ S 1 0 7 ~ S 1 0 8)

メモリ管理プログラム 1 4 1 A は、ヒープ領域 1 4 2 1 A のサイズを減少させてその分のメモリ容量を返却する (S 1 0 7) 。メモリ管理プログラム 1 4 1 A は、返却要求送信部 1 4 1 5 B に応答を返す (S 1 0 8) 。

[0070] (図6：ステップS101)

メモリ管理プログラム141Aは、JavaVM142Aが使用するメモリ量が不足しているか否かを判定する。判定手法は、図5のステップS101で説明した通りである。メモリが不足していると判定した場合はステップS102に進み、不足していないと判定した場合は本処理フローを終了する。

[0071] (図6：ステップS102～S104)

メモリ管理プログラム141Aは、通知受信部1412Bにメモリ貸与要求を送信する(S102)。メモリ管理プログラム141Aは、通知受信部1412Bからの応答を受信すると(S103)、ヒープ領域1421Aのサイズを増加させる(S104)。

[0072] 図7は、図5のシーケンス図におけるメモリ管理プログラム141Bの処理フローを示す図である。以下、図7の各ステップについて説明する。なお、図5と同じステップについては同じステップ番号を付与した。

[0073] (図7：ステップS200)

メモリ管理プログラム141Bは、所定時間間隔、JavaVM142Bが返却要求契機判定部1416Bに契機判定を要求した時点、あるいは通知受信部1412Bが貸与要求送信部1414Aから通知を受けた時点などの所定タイミングで、本処理フローを開始する。

[0074] (図7：ステップS201)

メモリ管理プログラム141Bは、貸与要求送信部1414Aからメモリ貸与要求を受信したか否かを判定する。受信した場合はステップS202へ進み、受信していない場合はステップS205にスキップする。

[0075] (図7：ステップS202～S203)

メモリ管理プログラム141Bは、ヒープ領域1421Bのサイズを減少させてその分のメモリ容量を貸与する(S202)。メモリ管理プログラム141Bは、返却要求送信部1414Aに応答を返す(S203)。

[0076] (図7：ステップS205)

メモリ管理プログラム 141B は、返却要求を送信する契機であるか否かを判定する。返却要求を送信する契機であると判定した場合はステップ S206 に進み、契機ではないと判定した場合は本処理フローを終了する。

[0077] (図 7 : ステップ S206 ~ S208)

メモリ管理プログラム 141B は、通知受信部 1412A にメモリ返却要求を送信する (S206)。メモリ管理プログラム 141B は、通知受信部 1412A からの応答を受信すると (S207)、ヒープ領域 1421B のサイズを増加させる (S208)。

[0078] 図 8 は、ステップ S205 における詳細処理を説明するフローチャートである。以下、図 8 の各ステップについて説明する。

[0079] (図 8 : ステップ S2051)

返却要求契機判定部 1417B は、返却要求契機フラグを無効な値 (例えば「0」) に設定する。返却要求契機フラグとは、返却要求を発行すべき契機に達しているか否かを示すフラグである。返却要求契機判定部 1417B は、同フラグの値を、例えばメモリ 120 内の適当な記憶領域に格納する。

[0080] (図 8 : ステップ S2052)

返却要求契機判定部 1417B は、貸与情報管理テーブル 1411B の GC 処理速度フィールド 14113B の値を読み取り、変数 y に格納する。

[0081] (図 8 : ステップ S2053)

返却要求契機判定部 1417B は、貸与情報管理テーブル 1411B の貸与先メモリ総量フィールド 14112B の値を読み出し、変数 z に格納する。

[0082] (図 8 : ステップ S2054)

返却要求契機判定部 1417B は、Java VM 142B のヒープ領域 1421B の空き容量を取得し、変数 m に格納する。

[0083] (図 8 : ステップ S2055)

返却要求契機判定部 1417B は、ヒープ領域 1421B の空き容量が単位時間あたりに減少する量を算出し、変数 n に格納する。具体的には、返却

要求契機判定部 1417B がステップ S2054 を前回実行した時に取得したヒープ領域 1421B の空き容量と、今回実行した時に取得したヒープ領域 1421B の空き容量との差分を求め、前回実行時からの経過時間で除算する。

[0084] (図 8 : ステップ S2055 : 補足)

返却要求契機判定部 1417B がステップ S2054 を最初に実行する時には、前回処理時の空き容量が存在しないので、前回実行時からの差分を求めることができない。この場合は例えば、前回処理時の空き容量の代わりにヒープ領域 1421B のサイズを用い、前回処理時からの経過時間の代わりに Java VM 142B が起動してから現時点までの経過時間を用いることができる。

[0085] (図 8 : ステップ S2056)

返却要求契機判定部 1417B は、下記式 (1) が成立するか否かを判定する。成立する場合はステップ S2057 へ進み、成立しない場合は本フローチャートを終了する。

$$z \times y \geq m / n \quad \cdots (1)$$

[0086] (図 8 : ステップ S2056 : 補足その 1)

式 (1) の左辺 (「 $z \times y$ 」) は、GC の対象となるメモリ総量 (z) に単位メモリ量当たりの GC 処理時間 (y) を掛けたものである。これは、Java VM 142A のヒープ領域 1421A に対して GC 処理を実施するために要する時間を表す。式 (1) の右辺 (「 m / n 」) は、ヒープ領域 1421B の空き容量 (m) を単位時間当たりでヒープ領域 1421B の空き容量が減少する量 (n) で割ったものである。これは、ヒープ領域 1421B の空き領域がなくなるまでの時間を表す。式 (1) が成立する場合、ヒープ領域 1421B の空き領域がなくなるまでの時間より、ヒープ領域 1421A を解放するために要する時間のほうが大きい (あるいは両者が等しい) ことになる。この場合、返却要求をすぐに送信しておかないと、ヒープ領域 1421B に空き領域が枯渇してしまう。そこで、返却要求契機判定部 141

7 Bは、返却要求を送信すべき契機に到達したと判定する。

[0087] (図8：ステップS2056：補足その2)

返却要求契機判定部1417Bが契機判定のために用いる判定式は、式(1)に限定されるものではない。例えば、メモリ割り当て変更部1423がヒープ領域1421のサイズを変更する処理にかかる時間が無視できないほど大きい場合には、式(1)の左辺にサイズ変更処理にかかる時間を加えてもよい。また式(1)では、ステップS205の実行タイミングによっては、契機判定する時点でヒープ領域1421Bに空き領域がなくなるまでの時間よりもヒープ領域1421Aを解放するために要する時間のほうが大きくなっており、返却が間に合わない恐れがある。そこで、式(1)の左辺に安全係数を表す値を加えてもよい。

[0088] (図8：ステップS2057)

返却要求契機判定部1417Bは、返却契機フラグを有効な値(例えば「1」)に設定し、本フローチャートを終了する。

[0089] <実施の形態1：まとめ>

以上のように、本実施形態1に係る計算機100によれば、メモリ管理プログラム141Bは、JavaVM142AがGCを実行するために時間を要する前提の下、JavaVM142Bが使用するメモリ領域が枯渇する前にメモリ管理プログラム141Aへメモリ返却要求を送信する。これにより、JavaVM142Aへ貸与したメモリ容量を返却する処理に時間がかかっても、JavaVM142Bの性能を低下させる可能性を低減することができる。

[0090] なお、本実施形態1において、仮想マシン140Aにはメモリ容量を借りるメモリ管理プログラム141Aを配置し、仮想マシン140Bにはメモリ容量を貸与するメモリ管理プログラム141Bを配置したが、1台の仮想マシン140に双方のメモリ管理プログラム141を配置することもできる。この場合、JavaVM142はメモリ容量を貸すことも借りることもできる。以下の実施形態でも同様である。

[0091] また、本実施形態 1 において、2 つの J a v a V M 1 4 2 間でメモリ容量を貸し借りする例を説明したが、3 つ以上の J a v a V M 1 4 2 間でメモリ容量を貸し借りする場合でも、本実施形態 1 と同様の手法を用いることができる。以下の実施形態でも同様である。

[0092] また、本実施形態 1 において、メモリ管理プログラム 1 4 1 と J a v a V M 1 4 2 を一体的に構成することもできる。同様に、メモリ管理プログラム 1 4 1 A と 1 4 1 B を一体的に構成し、メモリ容量を借りる機能と貸与する機能を双方とも持たせることもできる。以下の実施形態でも同様である。

[0093] また、本実施形態 1 において、G C 処理時間が G C 対象のメモリ総量に比例すると想定して、返却要求を発行する契機を判定したが、必ずしもこれに限られるものではない。G C 処理時間を推定することができるその他の手法を採用することもできる。以下の実施形態でも同様である。

[0094] また、本実施形態 1 において、メモリ容量を貸し借りするプログラムとして J a v a V M 1 4 2 を採り上げたが、本発明を適用することができるプログラムは J a v a V M に限定されるものではない。メモリ容量を使用するその他のプログラムに対しても、本発明を適用することができる。以下の実施形態でも同様である。

[0095] また、本実施形態 1 において、仮想マシン 1 4 0 の配下で各プログラムを動作させ、ハイパーバイザ 1 5 0 を介してメモリ容量を貸し借りする例を説明したが、仮想マシン 1 4 0 の配下で動作するプログラム以外のプログラムについても、本発明で説明した手法を適用することができる。以下の実施形態でも同様である。

[0096] <実施の形態 2>

本発明の実施形態 2 では、実施形態 1 で説明した J a v a V M 1 4 2 の G C 処理に代えて、またはこれと併用して、ヒープ領域 1 4 2 1 内のデータを圧縮することにより、メモリ使用量を削減する手法を説明する。計算機 1 0 0 の全体的な構成は実施形態 1 と同様であるため、以下では差異点を中心に説明する。

- [0097] 実施形態１で用いたGC処理によるメモリ容量返却では、ヒープ領域１４２１Ａのほとんどがゴミオブジェクトではないオブジェクト（以下、非ゴミオブジェクト）で占められている場合、十分にメモリ容量を削減できない可能性がある。メモリ容量を十分に削減できない場合、GC処理時間を考慮に入れた契機で返却要求を発行したとしても、Java VM 142 Bがメモリ容量を必要とする時までにメモリ容量を返却できず、Java VM 142 Bの性能が低下する恐れがある。
- [0098] これに対し、データ圧縮処理によってメモリ使用量を削減する場合は、非ゴミオブジェクトが占めるメモリ領域も削減対象とすることができ、上記問題が発生しない。
- [0099] データ圧縮処理は、前述の通り、メモリ中のデータの冗長性を検出することで行われるため、処理対象となるメモリ量が大きいほど処理時間は増加する。本実施形態２では、データ圧縮にかかる処理時間が対象のメモリ量にほぼ比例すると想定し、単位メモリ量当たりのデータ圧縮処理時間と処理対象メモリ量に基づいて、メモリ返却要求を送信する契機を判定する。
- [0100] 図９は、本実施形態２における仮想マシン１４０Ａの詳細構成を示す図である。本実施形態２において、Java VM 142 Aは、実施形態１の図２で説明した構成に加え、新たにデータ圧縮処理部１４２６Ａを備える。仮想マシン１４０Ａのその他の構成は、実施形態１と同様である。データ圧縮処理部１４２６Ａの動作は後述する。
- [0101] 図１０は、本実施形態２における貸与情報管理テーブル１４１１Ｂの構成とデータ例を示す図である。仮想マシン１４０Ｂの構成は実施形態１と概ね同様であるが、貸与情報管理テーブル１４１１Ｂの構成が異なる。本実施形態２において、貸与情報管理テーブル１４１１Ｂは、GC処理速度フィールド１４１１３Ｂに代えて、圧縮処理速度フィールド１４１１４Ｂを有する。
- [0102] 圧縮処理速度フィールド１４１１４Ｂは、Java VM 142 Aのデータ圧縮処理部１４２６Ａがヒープ領域１４２１Ａの単位メモリ量（ここではMB）に対してデータ圧縮処理を実施するために要する時間を保持する。

- [0103] 貸与先メモリ総量フィールド 1 4 1 1 2 B の値と圧縮処理速度フィールド 1 4 1 1 4 B の値を参照することにより、J a v a V M 1 4 2 A のデータ圧縮処理部 1 4 2 6 A がヒープ領域 1 4 2 1 A 内のオブジェクトを圧縮してメモリ使用量を削減するために要する時間が分かる。本実施形態 2 では、この時間を、J a v a V M 1 4 2 A が借りているメモリ容量を返却するのに要する時間であるとみなす。
- [0104] 以上、本実施形態 2 に係る計算機 1 0 0 の構成を説明した。次に、計算機 1 0 0 の全体的な動作、および各メモリ管理プログラム 1 4 1 間でメモリ容量を貸し借りする動作について説明する。
- [0105] 情報送信部 1 4 1 3 A は、J a v a V M 1 4 2 A が起動する時に、通知受信部 1 4 1 2 B に対して、ヒープ領域 1 4 2 1 A のサイズ、データ圧縮処理部 1 4 2 6 A が単位メモリ量当たりのデータ圧縮処理に要する時間を通知する。これらの値は、あらかじめ運用管理者等が指定しておく。あるいは、情報送信部 1 4 1 3 A が、データ圧縮処理部 1 4 2 6 A にデータ圧縮処理を実行させ、その際に計測した処理時間を通知受信部 1 4 1 2 B に通知することとも考えられる。通知を受けた通知受信部 1 4 1 2 B は、その内容を貸与情報管理テーブル 1 4 1 1 B の各フィールドに格納する。
- [0106] なお、情報送信部 1 4 1 3 A は、J a v a V M 1 4 2 A が起動する時に代えて、またはこれと併用して、J a v a V M 1 4 2 A が稼働している間に、所定時間間隔で上記各情報を通知するようにしてもよい。
- [0107] 本実施形態 2 では、図 5 で説明したステップ S 1 0 7 において、データ圧縮処理部 1 4 2 6 A がヒープ領域 1 4 2 1 A 内のデータを圧縮することにより、J a v a V M 1 4 2 A が使用しているメモリ量を削減する。このとき、データの使用頻度に基づいて使用頻度が小さいデータのみを圧縮してもよい。あるいは、圧縮後のデータ量を予測し、データ量削減効果の高いデータのみを圧縮してもよい。データ圧縮処理部 1 4 2 6 A は、任意の圧縮アルゴリズムを使用することができる。
- [0108] データ圧縮処理部 1 4 2 6 A がヒープ領域 1 4 2 1 A 内のデータを圧縮し

た後、メモリ割り当て変更部 1423A は、ヒープ領域 1421A のサイズを減少させる。

[0109] 図 11 は、ステップ S205 における詳細処理を説明するフローチャートである。本実施形態 2 において、ステップ S205 の処理は、図 8 で説明したステップ S2052 の内容が異なる。その他のステップは図 8 と同様である。

[0110] (図 11 : ステップ S2052)

返却要求契機判定部 1417B は、貸与情報管理テーブル 1411B の圧縮処理速度フィールド 14114B の値を読み取り、変数 y に格納する。

[0111] (図 11 : ステップ S2056)

本実施形態 2 における本ステップは、Java VM 142A のヒープ領域 1421A 内のデータを圧縮するのに要する時間と、Java VM 142B のヒープ領域 1421B が枯渇するまでにかかる見込み時間とを比較していることになる。

[0112] <実施の形態 2 : まとめ>

以上のように、本実施形態 2 に係る計算機 100 によれば、ヒープ領域 1421A のほとんどが非ゴミオブジェクトで占められている場合でも、Java VM 142A が使用するメモリ容量を削減することができる。これによって、Java VM 142B の性能が低下する可能性をより確実に抑えつつ、メモリ容量を Java VM 142A に貸与することができる。

[0113] なお、本実施形態 2 では、データ圧縮処理時間が圧縮対象のメモリ総量に比例すると想定して、返却要求を発行する契機を判定したが、必ずしもこれに限られるものではない。データ圧縮処理時間を推定することができるその他の手法を採用することもできる。その他の実施形態でも同様である。

[0114] また、本実施形態 2 において、データ圧縮処理によるメモリ使用量削減と、GC 処理によるメモリ使用量削減を、併用することもできる。例えば、まずは GC 処理を実施してメモリ使用量を削減し、削減量が不足している場合にはデータ圧縮処理を追加実施する、などの手法が考えられる。

[0115] <実施の形態 3>

本発明の実施形態 3 では、実施形態 1 で説明した J a v a V M 1 4 2 の G C 処理、および実施形態 2 で説明したデータ圧縮処理に代えて、またはこれらと併用して、ハイパーバイザ 1 5 0 のページング機能により、メモリ使用量を削減する手法を説明する。計算機 1 0 0 の全体的な構成は実施形態 1 と同様であるため、以下では差異点を中心に説明する。

[0116] 実施形態 1 で用いた G C 処理によりメモリ使用量を削減する場合、上述したように、十分にメモリ使用量を削減できない可能性がある。また、実施形態 2 で用いたデータ圧縮処理によってメモリ使用量を削減する場合、ヒープ領域 1 4 2 1 内のデータ冗長性が小さいと、十分にメモリ使用量を削減できない可能性がある。

[0117] これに対し、ページング機能によるメモリ使用量の削減では、ヒープ領域 1 4 2 1 内の非ゴミオブジェクトや冗長性の程度によらずメモリ使用量を削減することができ、上記課題が発生しない。

[0118] ページング処理は、前述の通り、メモリ内のデータを他の記憶媒体に複製することで行われるため、ページング対象となるメモリ量にほぼ比例した処理時間が必要となる。本実施形態 3 では、単位メモリ量当たりのページング処理時間と対象メモリ量に基づいて、メモリ返却要求を発行すべき契機を判定する。

[0119] 図 1 2 は、本実施形態 3 に係る計算機 1 0 0 の機能ブロック図である。本実施形態 3 において、計算機 1 0 0 のハイパーバイザ 1 5 0 は、ページング処理部 1 5 1 を備える。その他の構成は実施形態 1 ~ 2 と概ね同様であるため、以下では差異点を中心に説明する。

[0120] ページング処理部 1 5 1 は、各仮想マシン 1 4 0 が使用しているメモリ 1 3 0 内のデータを、ページング処理によって他の記憶媒体（例えば記憶部 1 2 0）に複製する。

[0121] 図 1 3 は、本実施形態 3 における仮想マシン 1 4 0 A の詳細構成を示す図である。本実施形態 3 において、メモリ管理プログラム 1 4 1 A は、実施形

態 1 ～ 2 で説明した構成に加え、ページング要求部 1 4 1 8 A を備える。ページング要求部 1 4 1 8 A は、メモリ管理プログラム 1 4 1 A 配下のソフトウェアモジュールなどの形態で実装することができる。

[0122] ページング要求部 1 4 1 8 A は、ハイパーバイザ 1 5 0 に対し、ページング処理を実行するように要求する。ページング処理により、仮想マシン 1 4 0 A が使用しているメモリ使用量を削減することを図る。なお、ヒープ領域 1 4 2 1 A のみをメモリ使用量の削減対象としてもよい。

[0123] 図 1 4 は、本実施形態 3 における貸与情報管理テーブル 1 4 1 1 B の構成とデータ例を示す図である。仮想マシン 1 4 0 B の構成は実施形態 1 と概ね同様であるが、貸与情報管理テーブル 1 4 1 1 B の構成が異なる。本実施形態 3 において、貸与情報管理テーブル 1 4 1 1 B は、GC 処理速度フィールド 1 4 1 1 3 B に代えて、ページング処理速度フィールド 1 4 1 1 5 B を有する。貸与している分のメモリ量に対してのみページング処理を実施する場合、貸与先メモリ総量フィールド 1 4 1 1 2 B は省略することができる。

[0124] ページング処理速度フィールド 1 4 1 1 5 B は、ハイパーバイザ 1 5 0 のページング処理部 1 5 1 がメモリ 1 3 0 の単位メモリ量（ここでは MB）に対してページング処理を実施するために要する時間を保持する。

[0125] 貸与量フィールド 1 4 1 1 1 B の値とページング処理速度フィールド 1 4 1 1 5 B の値を参照することにより、ハイパーバイザ 1 5 0 のページング処理部 1 5 1 がヒープ領域 1 4 2 1 A 内のオブジェクトを圧縮してメモリ使用量を削減するために要する時間が分かる。本実施形態 3 では、この時間を、J a v a V M 1 4 2 A が借りているメモリ容量を返却するのに要する時間であるとみなす。

[0126] 以上、本実施形態 3 に係る計算機 1 0 0 の構成を説明した。次に、計算機 1 0 0 の全体的な動作、および各メモリ管理プログラム 1 4 1 間でメモリ容量を貸し借りする動作について説明する。

[0127] 情報送信部 1 4 1 3 A は、J a v a V M 1 4 2 A が起動する時に、通知受信部 1 4 1 2 B に対して、ページング処理部 1 5 1 が単位メモリ量当たりの

ページング処理に要する時間を通知する。これらの値は、あらかじめ運用管理者等が指定しておく。あるいは、情報送信部 1413A が、ページング処理部 151 にページング処理を実行させ、その際に計測した処理時間を通知受信部 1412B に通知することも考えられる。通知を受けた通知受信部 1412B は、その内容を貸与情報管理テーブル 1411B の対応するフィールドに格納する。

[0128] なお、情報送信部 1413A は、Java VM 142A が起動する時に代えて、またはこれと併用して、Java VM 142A が稼働している間に、所定時間間隔で上記各情報を通知するようにしてもよい。

[0129] 本実施形態 3 では、図 5 で説明したステップ S 107 において、ページング要求部 1418A からページング処理部 151 に対してページングを実行するように要求する。ページング処理部 151 は、仮想マシン 140A に割り当てられているメモリ領域に対してページング処理を実施する。このとき、ヒープ領域 1421A に割り当てられているメモリ領域に対して優先的にページング処理を実施するようにしてもよい。また、必ずしも仮想マシン 140A またはヒープ領域 1421A に割り当てられているメモリ領域の全てに対してページング処理を実施する必要はなく、一部のメモリ領域のみに対して実施するようにしてもよい。

[0130] ページング処理部 151 がページング処理を実施した後、メモリ割り当て変更部 1423A は、ヒープ領域 1421A のサイズを減少させる。

[0131] 図 15 は、ステップ S 205 における詳細処理を説明するフローチャートである。本実施形態 3 において、ステップ S 205 の処理は、図 8 で説明したステップ S 2052 ~ S 2053 の内容が異なる。その他のステップは図 8 と同様である。

[0132] (図 15 : ステップ S 2052)

返却要求契機判定部 1417B は、貸与情報管理テーブル 1411B のページング処理速度フィールド 14115B の値を読み取り、変数 y に格納する。

[0133] (図15:ステップS2053)

返却要求契機判定部1417Bは、貸与情報管理テーブル1411Bの貸与量フィールド14111Bの値を読み取り、変数zに格納する。

[0134] (図15:ステップS2056)

本実施形態3における本ステップは、JavaVM142Aが借りているメモリ容量相当分をページング処理するのに要する時間と、JavaVM142Bのヒープ領域1421Bが枯渇するまでにかかる見込み時間とを比較していることになる。

[0135] <実施の形態3:まとめ>

以上のように、本実施形態3に係る計算機100によれば、ヒープ領域1421A内のデータに冗長性があまりない場合でも、JavaVM142Aが使用するメモリ容量を削減することができる。これによって、JavaVM142Bの性能が低下する可能性をより確実に抑えつつ、メモリ容量をJavaVM142Aに貸与することができる。

[0136] なお、本実施形態3において、メモリ管理プログラム141Aがページング要求部1418Aを備えることを説明したが、これに代えてメモリ管理プログラム141Bがページング要求部1418Aを備えるように構成することもできる。この場合、仮想マシン140Aまたはヒープ領域1421Aに割り当てられているメモリ容量に対して、メモリ管理プログラム141Bからページング処理を要求することになる。これにより、メモリ管理プログラム141Aが障害などによってページング処理要求を発行できない場合でも、JavaVM142が借りているメモリ容量を返却することができる。

[0137] また、本実施形態3において、メモリ管理プログラム141がページング要求部1418を備えることを説明したが、メモリ管理プログラム141以外のプログラム（例えばJavaVM142）がページング要求部1418を備えるように構成することもできる。

[0138] また、本実施形態3において、ページング処理によるメモリ使用量削減に加えて、データ圧縮処理によるメモリ使用量削減、またはGC処理によるメ

メモリ使用量削減のうち少なくともいずれかを併用することもできる。例えば、まずはGC処理を実施してメモリ使用量を削減し、削減量が不足していればデータ圧縮処理を実施し、なお削減量が不足している場合にページングを実施する、などの手法が考えられる。

[0139] <実施の形態4>

本発明の実施形態4では、仮想マシン140が3台存在し、メモリ容量をこれら3台の仮想マシン140の間で貸し借りする構成例を説明する。Java VM142BからJava VM142Aにメモリ容量を貸与する点は、実施形態1～3と同様である。本実施形態4では、Java VM142AからJava VM142Bへメモリ容量を返却する際の処理が、実施形態1～3とは異なる。

[0140] 図16は、本実施形態4に係る計算機100の機能ブロック図である。本実施形態4において、計算機100は、3台の仮想マシン140A、140B、140Cを備える。仮想マシン140Cの詳細構成については後述する。その他の構成は実施形態1～3と概ね同様であるため、以下では差異点を中心に説明する。

[0141] Java VM142Aは、Java VM142Bから借りているメモリ容量を使用中であるなどの理由で返却できないとき、Java VM142Cからメモリ容量を借りてJava VM142Bに返却する。これにより、Java VM142Aは、Java VM142Bからメモリ返却要求を受けたときでも、使用するメモリ容量を減少させることなく稼働し続けることができる。すなわち、複数の仮想マシン140間で空きメモリ容量を互いに融通し合うことにより、計算機100全体としてのメモリ使用効率を向上させることを図る。

[0142] 図17は、本実施形態4における仮想マシン140Bの詳細構成を示す図である。本実施形態4において、メモリ管理プログラム141Bは、実施形態1～3で説明した構成に加え、貸与可能量送受信部1419Bを備える。貸与可能量送受信部1419Bは、メモリ管理プログラム141B配下のソ

フトウェアモジュールなどの形態で実装することができる。

[0143] 図 17 では、実施形態 1 の図 3 で説明した構成に加えて貸与可能量送受信部 1419B を備えた構成を例示したが、その他の実施形態におけるメモリ管理プログラム 141B の構成に加えて貸与可能量送受信部 1419B を設けることもできる。

[0144] 貸与可能量送受信部 1419B は、後述する貸与可能量送受信部 1419C から、JavaVM 142C が貸与することができるメモリ容量の値を受信する。この値は、図 19 で説明する貸与情報管理テーブル 1411B に格納される。

[0145] 図 18 は、仮想マシン 140C の詳細構成を示す図である。仮想マシン 140C は、仮想マシン 140A に対してメモリ容量を貸与するので、その構成は仮想マシン 140B と概ね同様である。貸与情報管理テーブル 1411C の構成は、実施形態 1 の図 4 で説明したものと同様である。

[0146] 貸与可能量送受信部 1419C は、メモリ管理プログラム 141B の貸与可能量送受信部 1419B に対して、JavaVM 142C が貸与することができるメモリ容量の値を送信する。

[0147] 図 19 は、本実施形態 4 における貸与情報管理テーブル 1411B の構成とデータ例を示す図である。本実施形態 4 における貸与情報管理テーブル 1411B は、実施形態 1～3 で説明した構成に加え、新たに貸与可能量フィールド 14116B を有する。

[0148] 貸与可能量送受信部 1419B は、後述する貸与可能量送受信部 1419C から、JavaVM 142C が貸与することができるメモリ容量の値を受信すると、その値を貸与可能量フィールド 14116B に格納する。

[0149] 図 19 では、実施形態 1 の図 4 で説明した構成に加えて貸与可能量フィールド 14116B を設けた構成を例示したが、その他の実施形態における貸与情報管理テーブル 1411B の構成に加えて同フィールドを設けることもできる。

[0150] 以上、本実施形態 4 に係る計算機 100 の構成を説明した。次に、計算機

100の全体的な動作、および各メモリ管理プログラム141間でメモリ容量を貸し借りする動作について説明する。

[0151] 情報送信部1413Aは、JavaVM142Aが起動する時、通知受信部1412Bおよび1412Cに対して、ヒープ領域1421Aのサイズ、GC処理部1422Aが単位メモリ量当たりのGC処理に要する時間を通知する。通知を受けた通知受信部1412Bおよび1412Cは、その内容を貸与情報管理テーブル1411Bおよび1411Cの各フィールドに格納する。

[0152] メモリ管理プログラム141Cの貸与可能量送受信部1419Cは、JavaVM142Cの稼働中に、所定時間間隔で、メモリ管理プログラム141Bの貸与可能量送受信部1419Bに対して、JavaVM142Cが貸与することができるメモリ量を通知する。JavaVM142Cが貸与できるメモリ量として、例えば、ヒープ領域1421Cの空き容量を通知することが考えられる。通知を受けた貸与可能量送受信部1419Bは、貸与可能量フィールド14116Bに通知された値を格納する。

[0153] なお、貸与可能量送受信部1419Cが貸与可能量を所定時間間隔で通知する代わりに、Javaプログラム実行部1425Cの処理によりヒープ領域1421Cの空き容量が変化した契機で通知してもよい。

[0154] 図20は、本実施形態4におけるステップS107の詳細を示す図である。実施形態1～3では、メモリ管理プログラム141Aはメモリ管理プログラム141Bからメモリ返却要求を受けると、ステップS107でヒープ領域1421Aのサイズを減少させるなどしてJavaVM142Aのメモリ使用量を減少させ、メモリ容量を返却していた。しかし、ステップS107の時点でJavaVM142Aが借りているメモリ容量を使用中である場合、即座にメモリ容量を返却すると、JavaVM142Aの性能を低下させてしまう可能性がある。そこで本実施形態4では、ステップS107において、仮想マシン140Cからメモリ容量を借りた上で返却することとした。以下、図20の各ステップについて説明する。

[0155] (図20:ステップS1071)

貸与要求送信部1414Aは、通知受信部1412Cに対し、メモリ容量を貸与するよう要求する。

[0156] (図20:ステップS1072~S1073)

通知受信部1412Cは、ステップS1071で貸与要求送信部1414Aが送信した貸与要求を受信する(S1072)。通知受信部1412Cは、ステップS202と同様の手順で、ヒープ領域1421Cのサイズを減少させる(S1073)。

[0157] (図20:ステップS1074)

通知受信部1412Cは、ヒープ領域1421Cのサイズを減少させた後、貸与情報管理テーブル1411Cの貸与量フィールド14111Cの値をヒープ領域1421Cのサイズ減少量分だけ増加させ、ヒープ領域1421Cのサイズ減少量を含んだ応答を、貸与要求送信部1414Aに返す。

[0158] (図20:ステップS1075)

貸与要求送信部1414Aは、ステップS1074で通知受信部1412Cが送信した応答を受信し、本処理シーケンスを終了する。

[0159] 図21は、本実施形態4におけるステップS205の詳細処理を説明するフローチャートである。本実施形態4では、実施形態1~3とは異なり、ヒープ領域1421Cの空き容量が十分あるか否かによって、メモリ管理プログラム141Bがメモリ返却要求を発行するタイミングが異なる。以下、図21の各ステップについて説明する。

[0160] (図21:ステップS2051~S2055)

これらのステップは、実施形態1の図8と同様である。ただし、ステップS2055の後にステップS2058~S2059が新たに追加されている。

[0161] (図21:ステップS2058)

返却要求契機判定部1417Bは、貸与情報管理テーブル1411Bから貸与量フィールド14111Bの値を読み出し、変数aに格納する。

[0162] (図21：ステップS2059)

返却要求契機判定部1417Bは、貸与情報管理テーブル1411Bから貸与可能量フィールド14116Bの値(JavaVM142Cが貸与できるメモリ容量)を読み出し、変数bに格納する。

[0163] (図21：ステップS2056)

返却要求契機判定部1417Bは、式(1)および下記式(2)が成立するか否かを判定する。成立する場合はステップS2057へ進み、成立しない場合は本フローチャートを終了する。

$$b \leq a \quad \cdots (2)$$

[0164] (図21：ステップS2056：補足その1)

式(2)が成立する場合、JavaVM142Cが貸与できるメモリ量(b)よりもJavaVM142Aが借りているメモリ容量(a)の方が大きい。そのため、JavaVM142Cからメモリ容量を貸与するのみでは、JavaVM142Bから借りたメモリ容量を返却することができない。この場合、JavaVM142AがGCを実施する必要がある。

[0165] (図21：ステップS2056：補足その2)

式(1)が成立していても、式(2)が成立しないのであれば、JavaVM142Cからメモリ容量を貸与して、JavaVM142Bに借りている分を返却することができる。同様に式(2)が成立していても、式(1)が成立しないのであれば、ヒープ領域1421Bが枯渇するまでの時間に余裕があることになるので、返却要求を発行しなくともよい。すなわち、式(1)(2)双方が成立する場合に限り、メモリ返却要求を発行すべきタイミングに到達していると判定することになる。

[0166] (図21：ステップS2056：補足その3)

図8と同様に、本ステップで返却要求契機判定部1417Bが契機判定のために用いる判定式は、式(1)(2)に限定されるものではない。安全係数などを適宜加味することができる。

[0167] <実施の形態4：まとめ>

以上のように、本実施形態４に係る計算機１００によれば、Ｊａｖａ ＶＭ １４２Ｂから借りているメモリ容量を使用中であっても、Ｊａｖａ ＶＭ １４２Ｃから新たにメモリ容量を借り受けてＪａｖａ ＶＭ １４２Ｂに返却することができる。これにより、計算機１００全体としてメモリ使用効率を向上させることができる。

[0168] なお、本実施形態４において、１台の仮想マシン１４０に３つのメモリ管理プログラム１４１Ａ～１４１Ｃのうちいずれか２以上を配置することもできる。この場合、Ｊａｖａ ＶＭ １４２は、メモリ容量の貸手、借手、２番目の貸手のうちいずれか２以上の役割を兼ねることができる。

[0169] また、本実施形態４において、実施形態１で説明した構成の下で新たに仮想マシン１４０Ｃを設けた例を示したが、その他の実施形態で説明した構成の下で仮想マシン１４０Ｃを設け、本実施形態４と同様に相互にメモリ容量を貸し借りすることもできる。

[0170] <実施の形態５>

以上の実施形態１～４で説明した各プログラムを、半導体メモリ、磁気ディスク、工学ディスクなどの種々の記録媒体にその一部または全部を格納し、計算機にインストールすることにより、各実施形態で説明した計算機１００の機能を構成することができる。同様にインターネットなどの通信線を利用して同プログラムを計算機に提供し、各実施形態で説明した計算機１００の機能を構成することもできる。

符号の説明

[0171] １００：計算機、１１０：ＣＰＵ、１２０：記憶部、１２１：Ｊａｖａプログラム、１３０：メモリ、１４０：仮想マシン、１４１：メモリ管理プログラム、１４１１：貸与情報管理テーブル、１４１１１：貸与量フィールド、１４１１２：貸与先メモリ総量フィールド、１４１１３：ＧＣ処理速度フィールド、１４１１４：圧縮処理速度フィールド、１４１１５：ページング処理速度フィールド、１４１１６：貸与可能量フィールド、１４１２：通知受信部、１４１３：情報送信部、１４１４：貸与要求送信部、１４１５：返

却要求送信部、1416：貸与要求契機判定部、1417：返却要求契機判定部、1418：ページング要求部、1419：貸与可能量送受信部、142：Java VM、1421：ヒープ領域、1422：GC処理部、1423：メモリ割り当て変更部、1424：参照ルート、1425：Javaプログラム実行部、143：オペレーティングシステム、150：ハイパーバイザ、151：ページング処理部。

請求の範囲

[請求項1]

演算装置、メモリ、第1プログラムおよび第2プログラムを備えた計算機の前記メモリを管理する方法であって、

前記メモリの記憶容量のうち、前記第1プログラムおよび前記第2プログラムがそれぞれ使用することができる記憶容量を割り当てる割当ステップと、

前記第2プログラムに割り当てられた前記記憶容量の少なくとも一部を、前記第1プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て直すステップと、

前記割り当て直した記憶容量を、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻す契機を判定する契機判定ステップと、

前記契機判定ステップで判定された契機に達した時点で、前記割り当て直した記憶容量を前記第2プログラムが使用できる記憶容量として割り当て戻すように前記第1プログラムへ指示するステップと、

前記指示にしたがって、前記割り当て直した記憶容量を、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻す返却ステップと、

を有し、

前記契機判定ステップでは、

前記割り当て直した記憶容量を、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻すために要する時間を推定し、

前記第2プログラムが使用することができる記憶容量が不足して前記第2プログラムの実行性能が低下する前に、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量として前記割り当て直した記憶容量が割り当て戻されるように、前記契機を判定する

ことを特徴とするメモリ管理方法。

[請求項2] 前記契機判定ステップでは、

前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量の総サイズに基づき、前記割り当て直した記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻すために要する時間を推定し、

その推定結果に基づき、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量が不足する前に前記割り当て直した記憶容量が割り当て戻されるように、前記契機を判定する

ことを特徴とする請求項 1 記載のメモリ管理方法。

[請求項3] 前記契機判定ステップでは、

前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量が単位時間あたりに減少する速度に基づき、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量が不足するまでにかかる時間を推定する

ことを特徴とする請求項 1 記載のメモリ管理方法。

[請求項4] 前記契機判定ステップでは、

前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て直した記憶容量サイズに基づき、前記割り当て直した記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻すために要する時間を推定し、

その推定結果に基づき、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量が不足する前に前記割り当て直した記憶容量が割り当て戻されるように、前記契機を判定する

ことを特徴とする請求項 1 記載のメモリ管理方法。

[請求項5] 前記返却ステップでは、

前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当てられている前記メモリの記憶容量のうち、前記第 1 プログラムが使用していない不要領域を解放することにより、前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量を削減し、

その削減した分の記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻す

ことを特徴とする請求項 1 記載のメモリ管理方法。

[請求項 6]

前記返却ステップでは、

前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当てられている前記メモリの記憶容量のうち、冗長なデータを格納している部分を圧縮することにより、前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量を削減し、

その削減した分の記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻す

ことを特徴とする請求項 1 記載のメモリ管理方法。

[請求項 7]

前記返却ステップでは、

前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当てられている前記メモリの記憶容量の少なくとも一部を、前記メモリ以外の記憶媒体に書き込むことにより、前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量を削減し、

その削減した分の記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻す

ことを特徴とする請求項 1 記載のメモリ管理方法。

[請求項 8]

前記計算機は、前記第 1 プログラムおよび前記第 2 プログラムとは異なる第 3 プログラムを備えており、

前記割当ステップでは、

前記メモリの記憶容量のうち、前記第 1 プログラム、前記第 2 プログラム、および前記第 3 プログラムがそれぞれ使用することができる記憶容量を割り当て、

前記返却ステップでは、

前記第 3 プログラムに割り当てられている前記メモリの記憶容量のうち前記第 3 プログラムが使用していない記憶容量を、前記第 2 プ

プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻すことを特徴とする請求項 1 記載のメモリ管理方法。

[請求項9] 前記契機判定ステップでは、

前記第 3 プログラムに割り当てられている前記メモリの記憶容量のうち前記第 3 プログラムが使用していない記憶容量が、前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量として一時的に割り当て直した記憶容量よりも小さいとき、

前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量として一時的に割り当て直した記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用できる記憶容量として割り当て戻す

ことを特徴とする請求項 8 記載のメモリ管理方法。

[請求項10] 演算装置、メモリ、第 1 プログラムおよび第 2 プログラムを有する計算機に、

前記メモリの記憶容量のうち、前記第 1 プログラムおよび前記第 2 プログラムがそれぞれ使用することができる記憶容量を割り当てる割当機能と、

前記第 2 プログラムに割り当てられた前記記憶容量の少なくとも一部を、前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て直す機能と、

前記割り当て直した記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻すために要する時間を推定し、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量が不足して前記第 2 プログラムの実行性能が低下する前に、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量として前記割り当て直した記憶容量が割り当て戻されるように、前記契機を判定する契機判定機能と、

前記契機判定機能で判定された契機に達した時点で、前記割り当て直した記憶容量を前記第 2 プログラムが使用できる記憶容量として割り当て戻すように前記第 1 プログラムへ指示する機能と、

前記指示にしたがって、前記割り当て直した記憶容量を、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻す返却機能と、

を実行させるプログラムを格納したことを特徴とする記録媒体。

[請求項11]

演算装置、メモリ、第1プログラム、および第2プログラムを備えた計算機であって、

前記メモリの記憶容量のうち、前記第1プログラムおよび前記第2プログラムがそれぞれ使用することができる記憶容量を割り当てる割当部と、

前記第2プログラムに割り当てられた前記記憶容量のうち全部または一部を、前記第1プログラムが使用することができる記憶容量として一時的に割り当て直す処理部と、

前記割り当て直した記憶容量を、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻す契機を判定する契機判定部と、

前記契機判定部が判定された契機に達した時点で、前記割り当て直した記憶容量を前記第2プログラムが使用できる記憶容量として割り当て戻すように前記第1プログラムへ指示する処理部と、

前記指示にしたがって、前記割り当て直した記憶容量を、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻す返却部と、

を有し、

前記契機判定部は、

前記割り当て直した記憶容量を、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻すために要する時間を推定し、

前記第2プログラムが使用することができる記憶容量が不足して前記第2プログラムの実行性能が低下する前に、前記第2プログラム

が使用することができる記憶容量として前記割り当て直した記憶容量が割り当て戻されるように、前記契機を判定する

ことを特徴とする計算機。

[請求項12]

前記契機判定部は、

前記第1プログラムが使用することができる記憶容量の総サイズに基づき、前記割り当て直した記憶容量を、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻すために要する時間を推定し、

その推定結果に基づき、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量が不足する前に前記割り当て直した記憶容量が割り当て戻されるように、前記契機を判定する

ことを特徴とする請求項11記載の計算機。

[請求項13]

前記契機判定部は、

前記第2プログラムが使用することができる記憶容量が単位時間あたりに減少する速度に基づき、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量が不足するまでにかかる時間を推定する

ことを特徴とする請求項11記載の計算機。

[請求項14]

前記契機判定部は、

前記第1プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て直した記憶容量サイズに基づき、前記割り当て直した記憶容量を、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻すために要する時間を推定し、

その推定結果に基づき、前記第2プログラムが使用することができる記憶容量が不足する前に前記割り当て直した記憶容量が割り当て戻されるように、前記契機を判定する

ことを特徴とする請求項11記載の計算機。

[請求項15]

前記返却部は、

前記第1プログラムが使用することができる記憶容量として割り

当てられている前記メモリの記憶容量のうち、前記第 1 プログラムが使用していない不要領域を解放することにより、前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量を削減し、

その削減した分の記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻す

ことを特徴とする請求項 11 記載の計算機。

[請求項16]

前記返却部は、

前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当てられている前記メモリの記憶容量のうち、冗長なデータを格納している部分を圧縮することにより、前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量を削減し、

その削減した分の記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻す

ことを特徴とする請求項 11 記載の計算機。

[請求項17]

前記返却部は、

前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当てられている前記メモリの記憶容量の少なくとも一部を、前記メモリ以外の記憶媒体に書き込むことにより、前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量を削減し、

その削減した分の記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻す

ことを特徴とする請求項 11 記載の計算機。

[請求項18]

前記計算機は、前記第 1 プログラムおよび前記第 2 プログラムとは異なる第 3 プログラムを備えており、

前記割当部は、

前記メモリの記憶容量のうち、前記第 1 プログラム、前記第 2 プログラム、および前記第 3 プログラムがそれぞれ使用することができる記憶容量を割り当て、

前記返却部は、

前記第 3 プログラムに割り当てられている前記メモリの記憶容量のうち前記第 3 プログラムが使用していない記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用することができる記憶容量として割り当て戻すことを特徴とする請求項 11 記載の計算機。

[請求項 19]

前記契機判定部は、

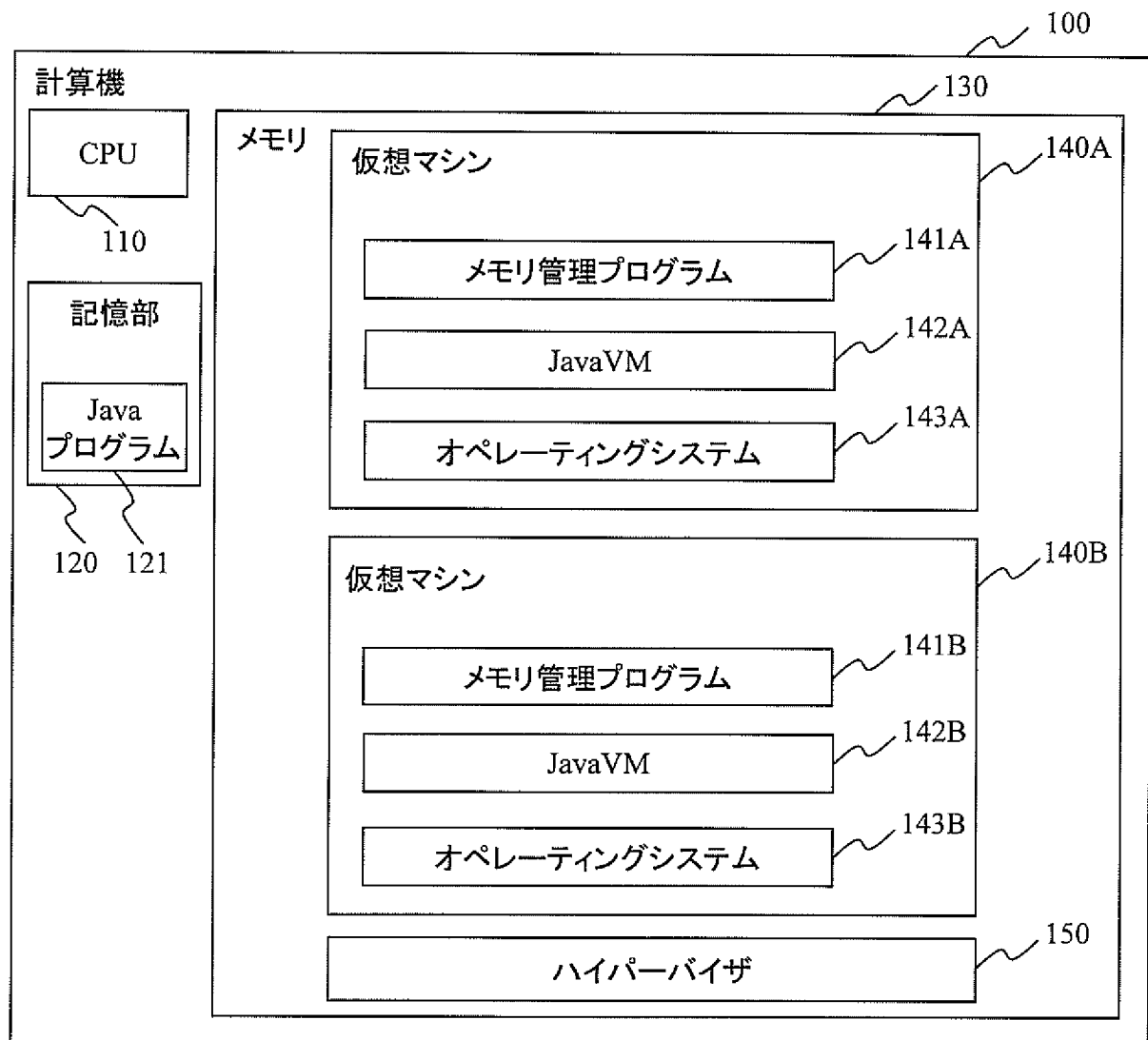
前記第 3 プログラムに割り当てられている前記メモリの記憶容量のうち前記第 3 プログラムが使用していない記憶容量が、前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量として一時的に割り当て直した記憶容量よりも小さいとき、

前記第 1 プログラムが使用することができる記憶容量として一時的に割り当て直した記憶容量を、前記第 2 プログラムが使用できる記憶容量として割り当て戻す

ことを特徴とする請求項 18 記載の計算機。

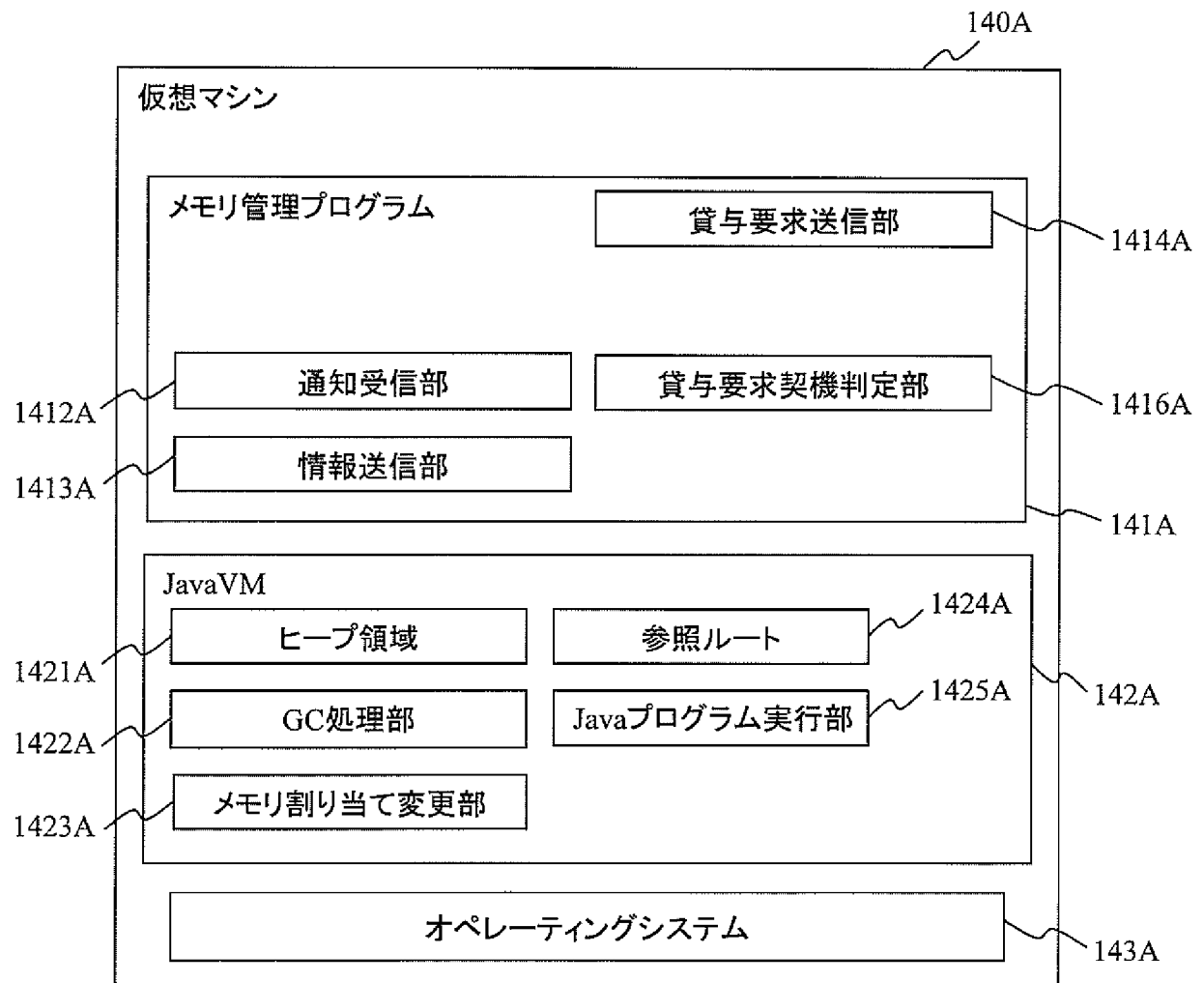
[図1]

図 1



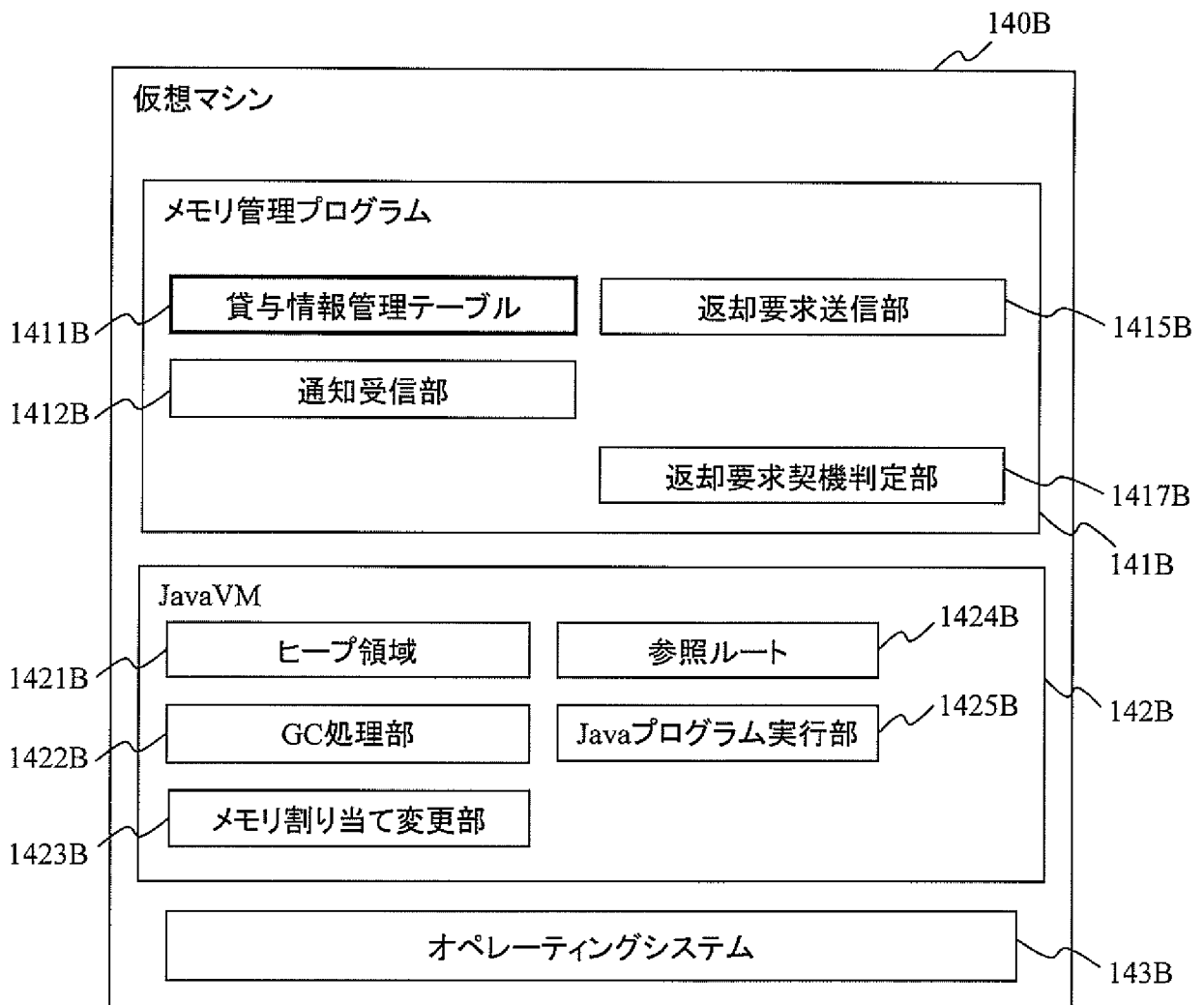
[図2]

図 2



[図3]

図 3



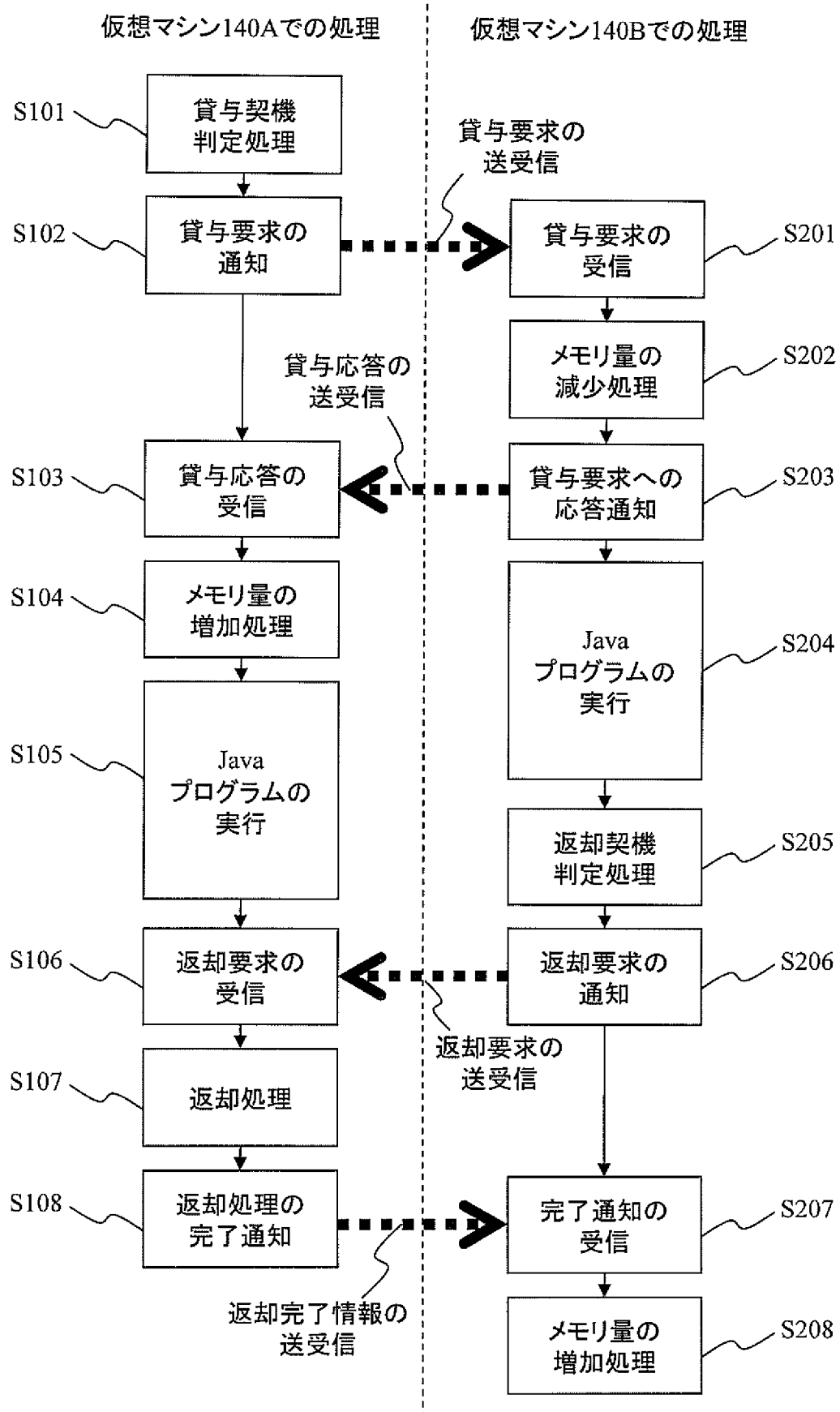
[図4]

図 4

貸与量	貸与先 メモリ総量	GC処理速度
0MB	4096MB	0.001sec/MB

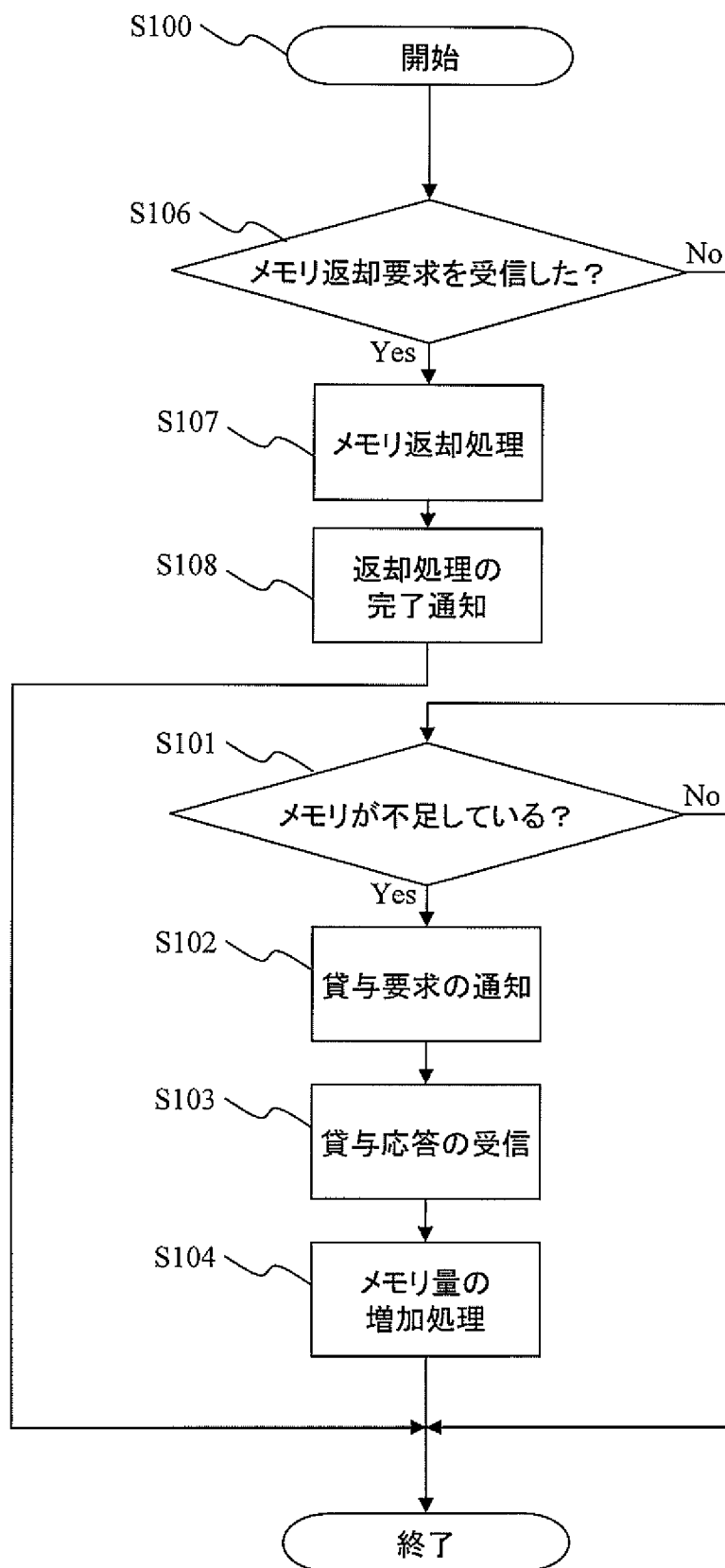
[図5]

図 5



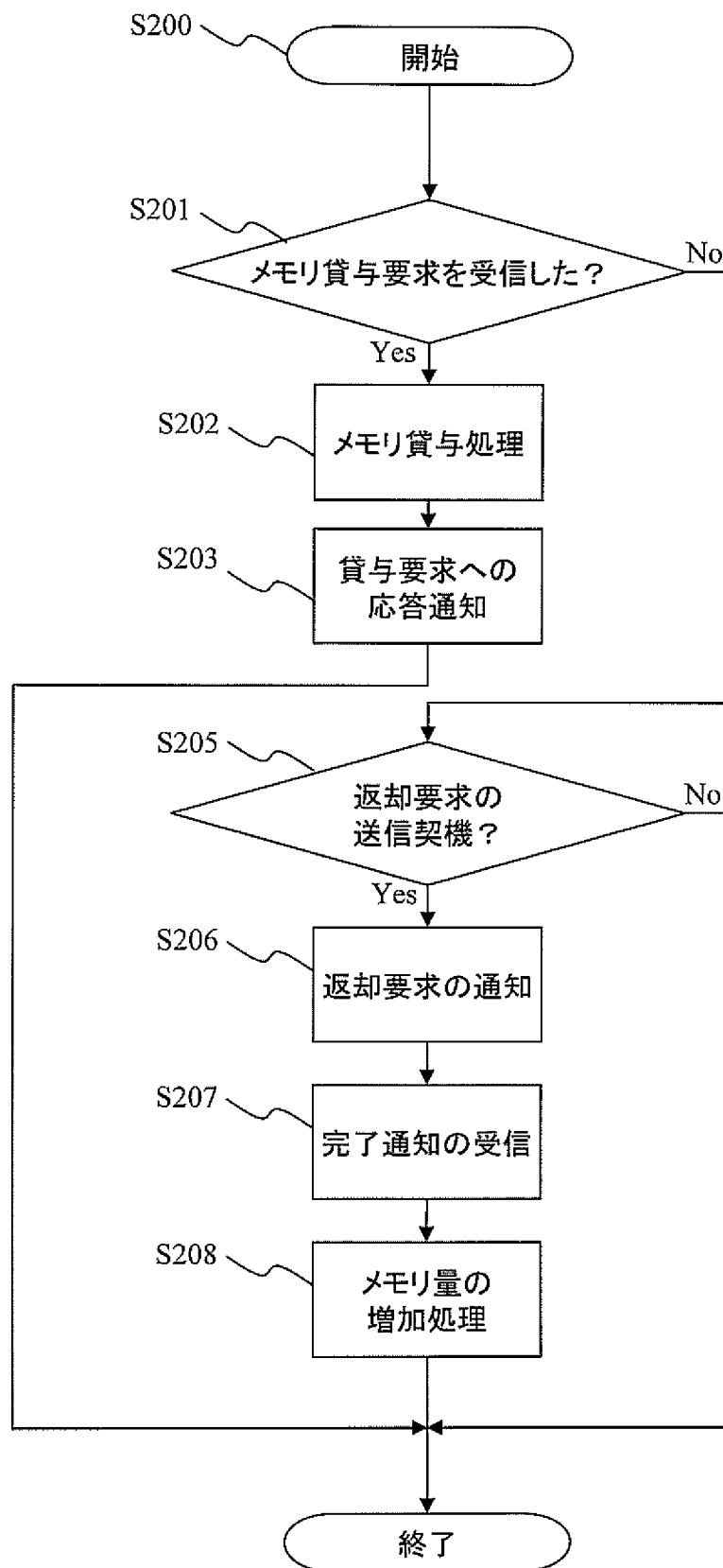
[図6]

図 6



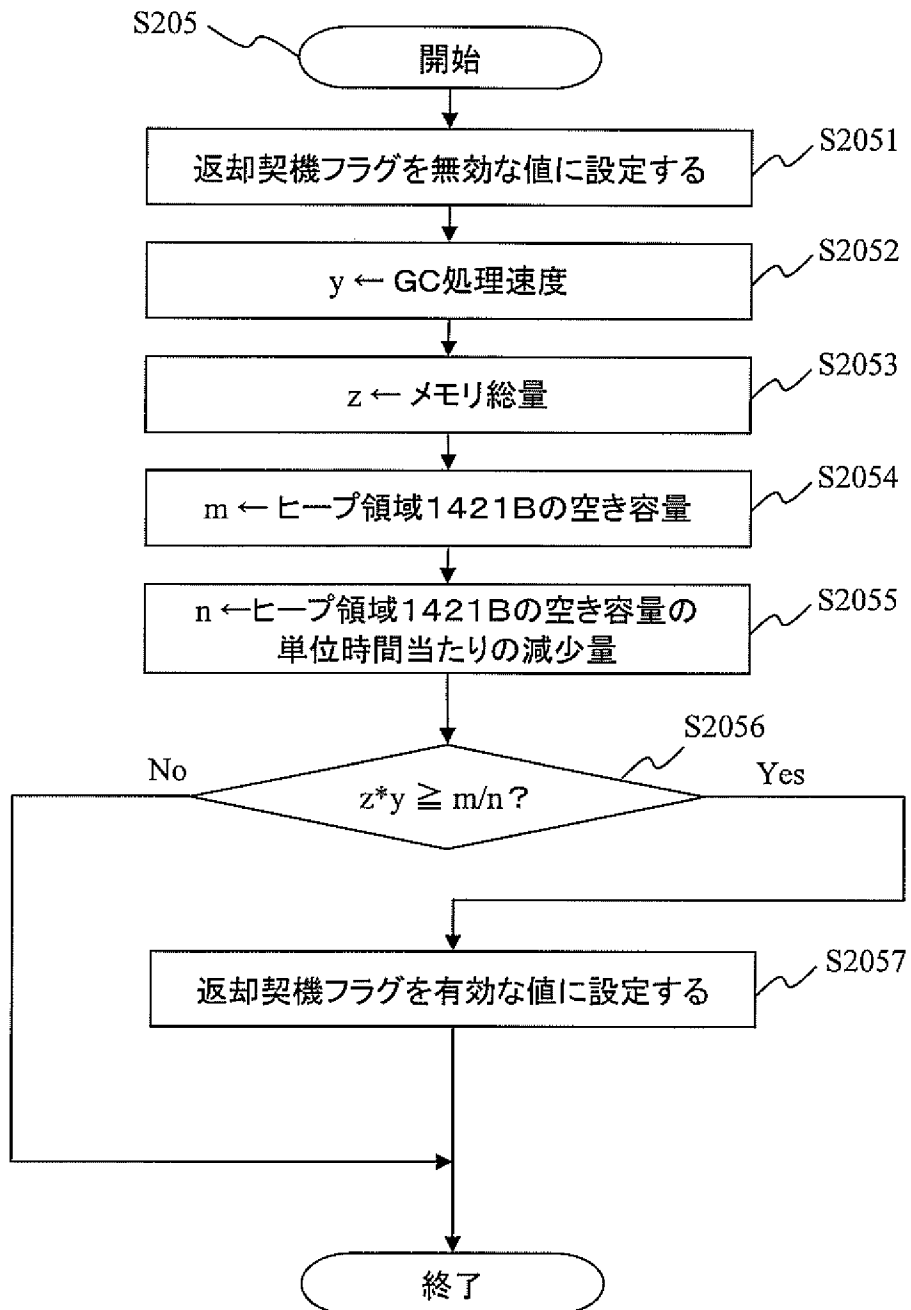
[図7]

図 7



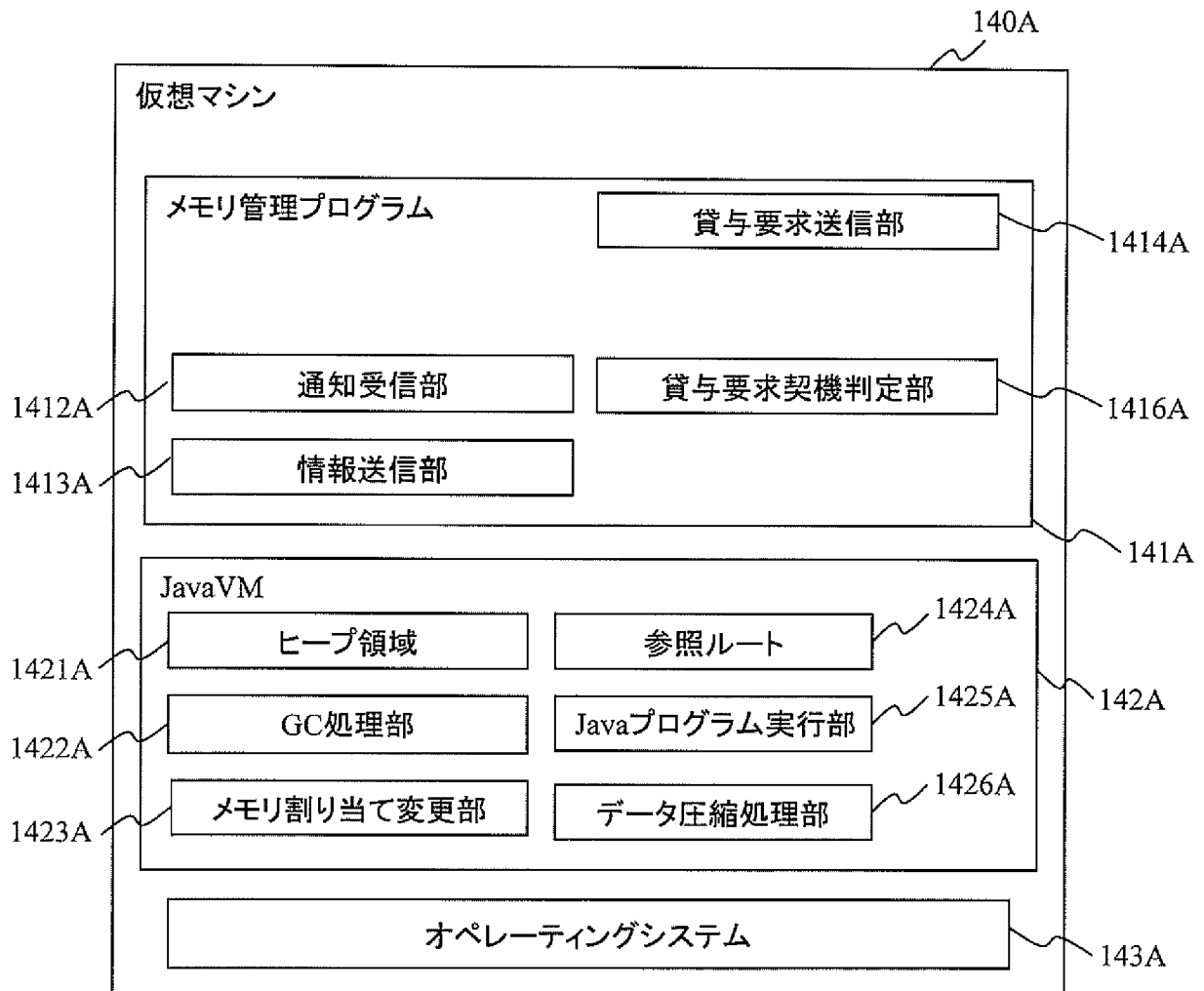
[図8]

図 8



[図9]

図 9



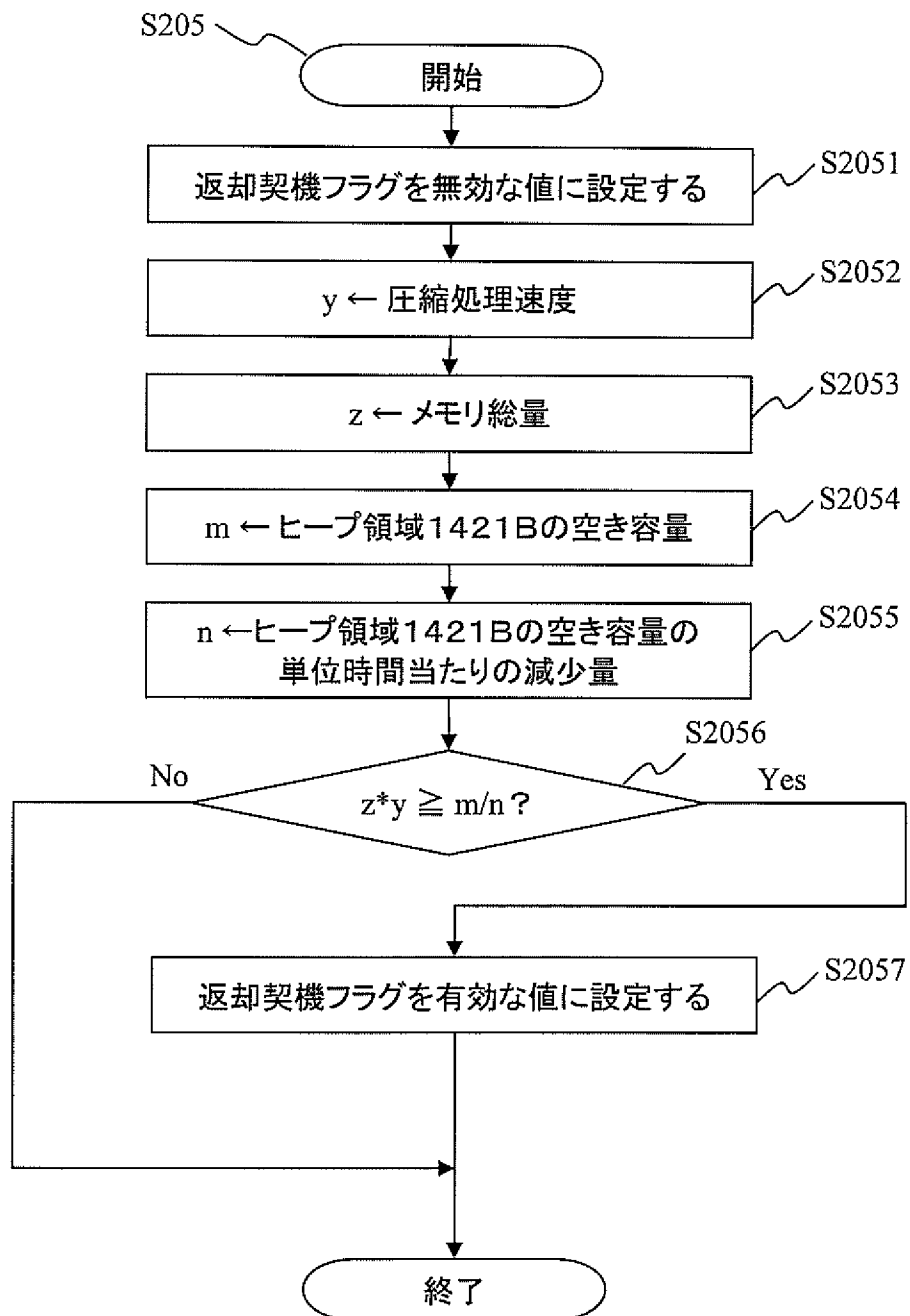
[図10]

図 10

貸与量	貸与先 メモリ総量	圧縮処理速度
0MB	4096MB	0.001sec/MB

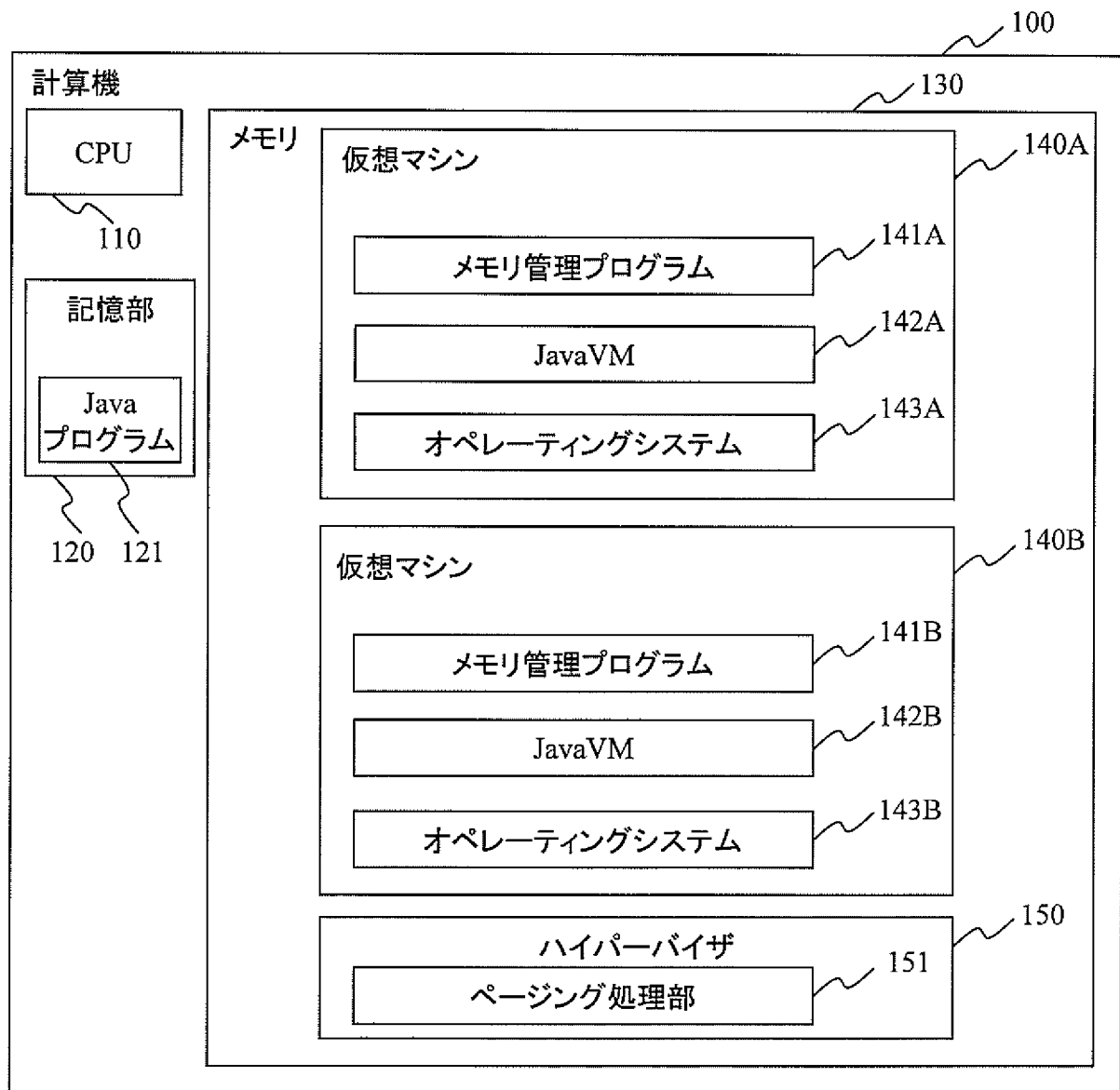
[図11]

図 1 1



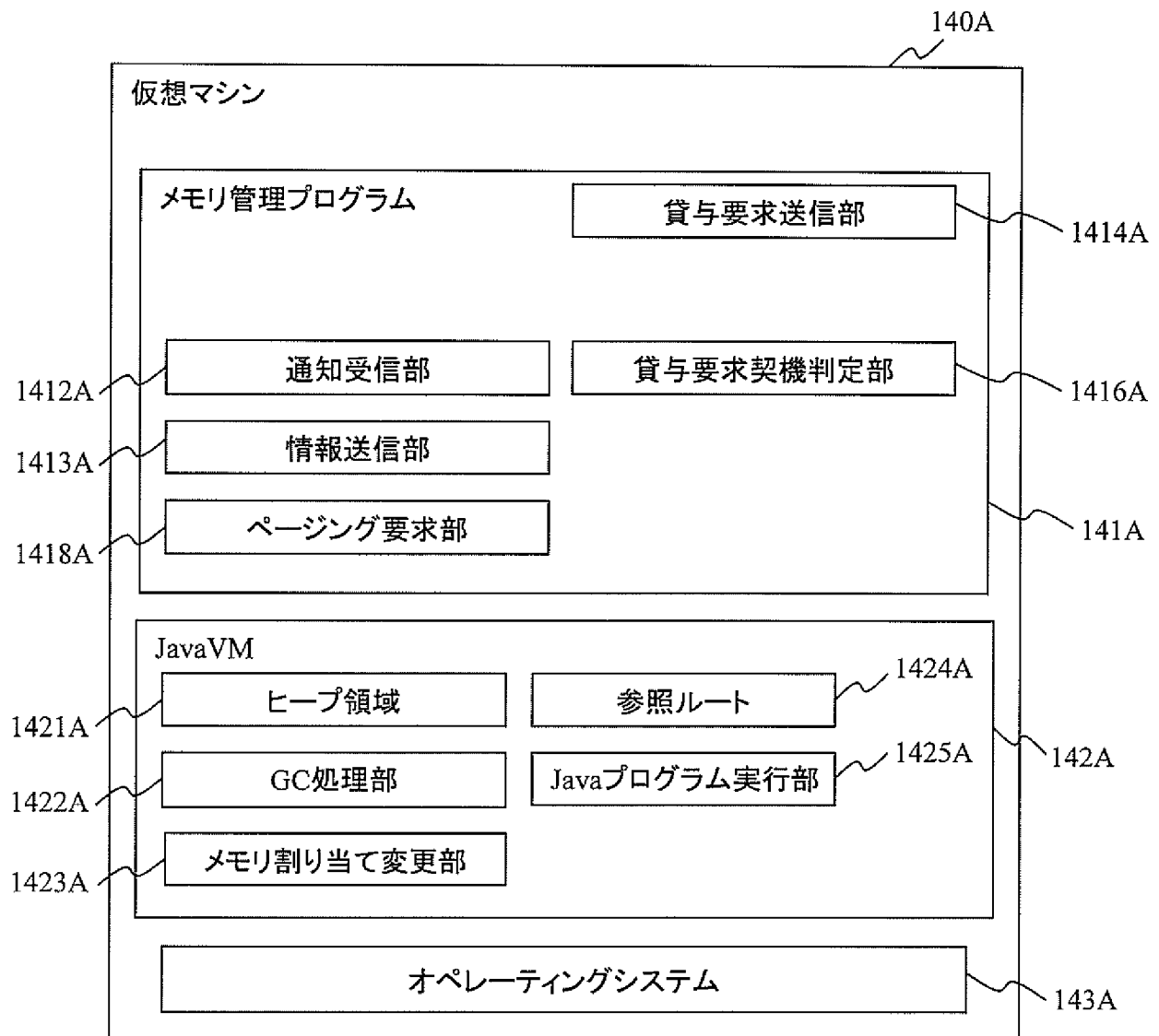
[図12]

図 1 2



[図13]

図 1 3



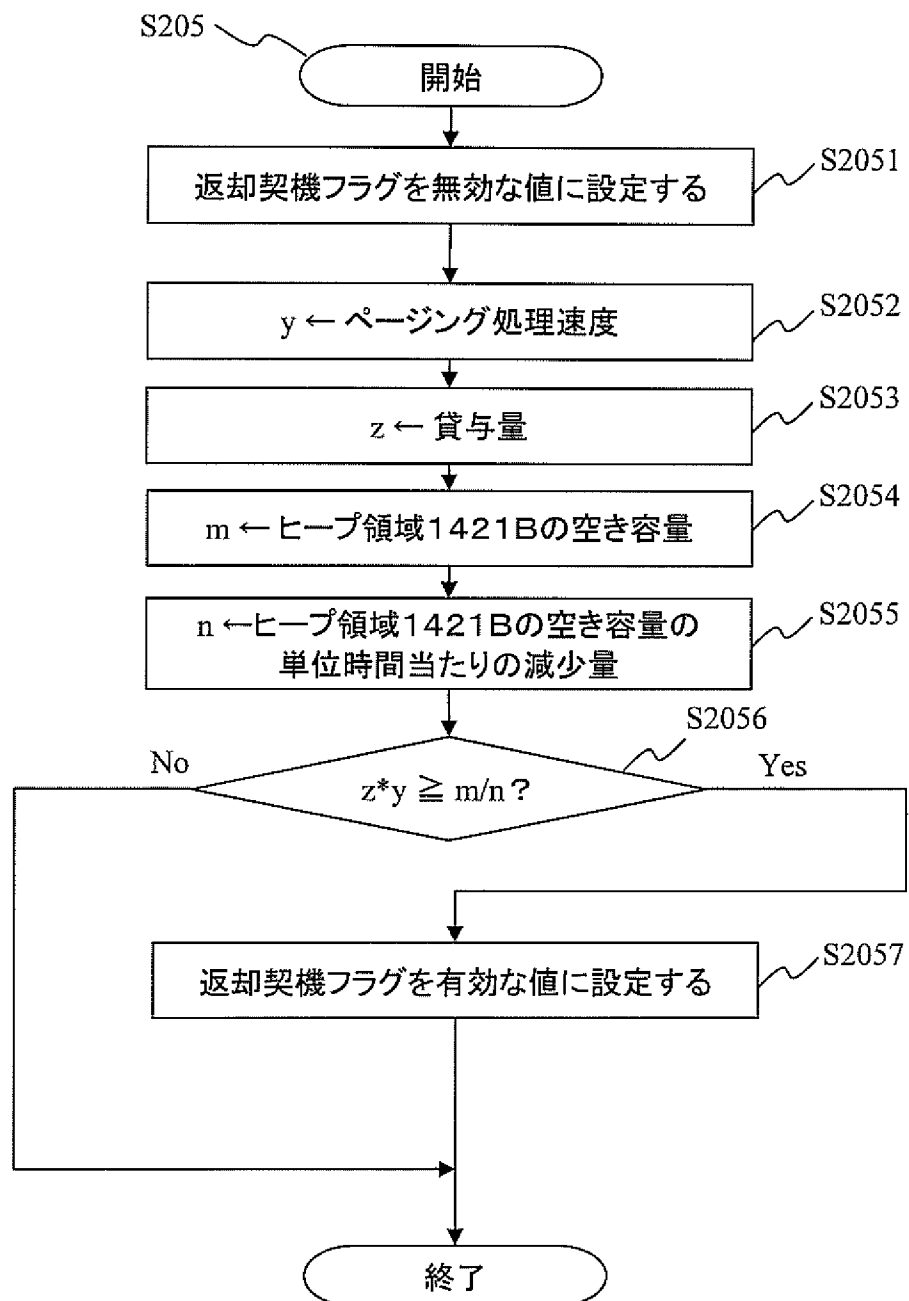
[図14]

図 1 4

貸与量	ページング処理速度
0MB	0.01sec/MB

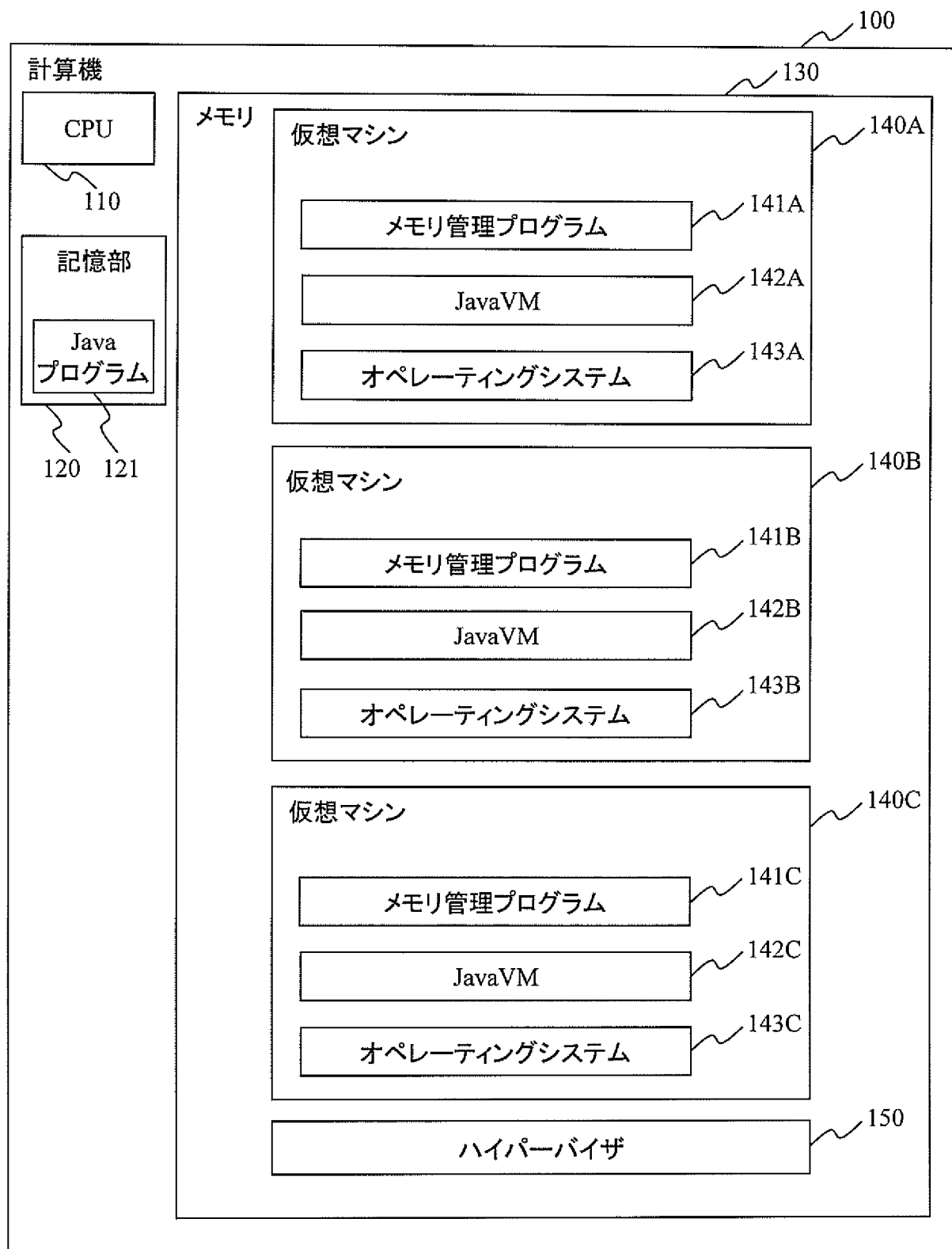
[図15]

図 15



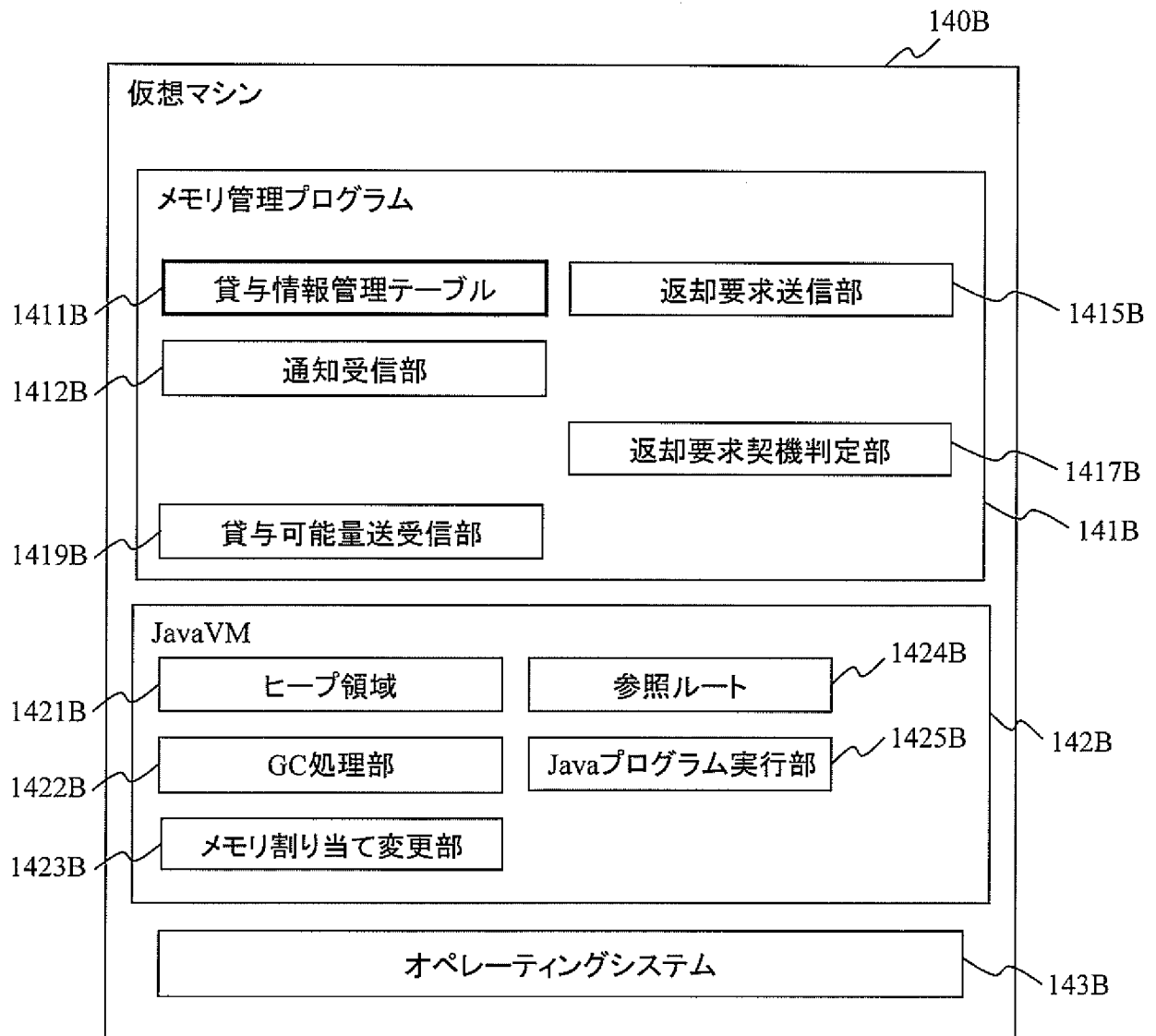
[図16]

図 16



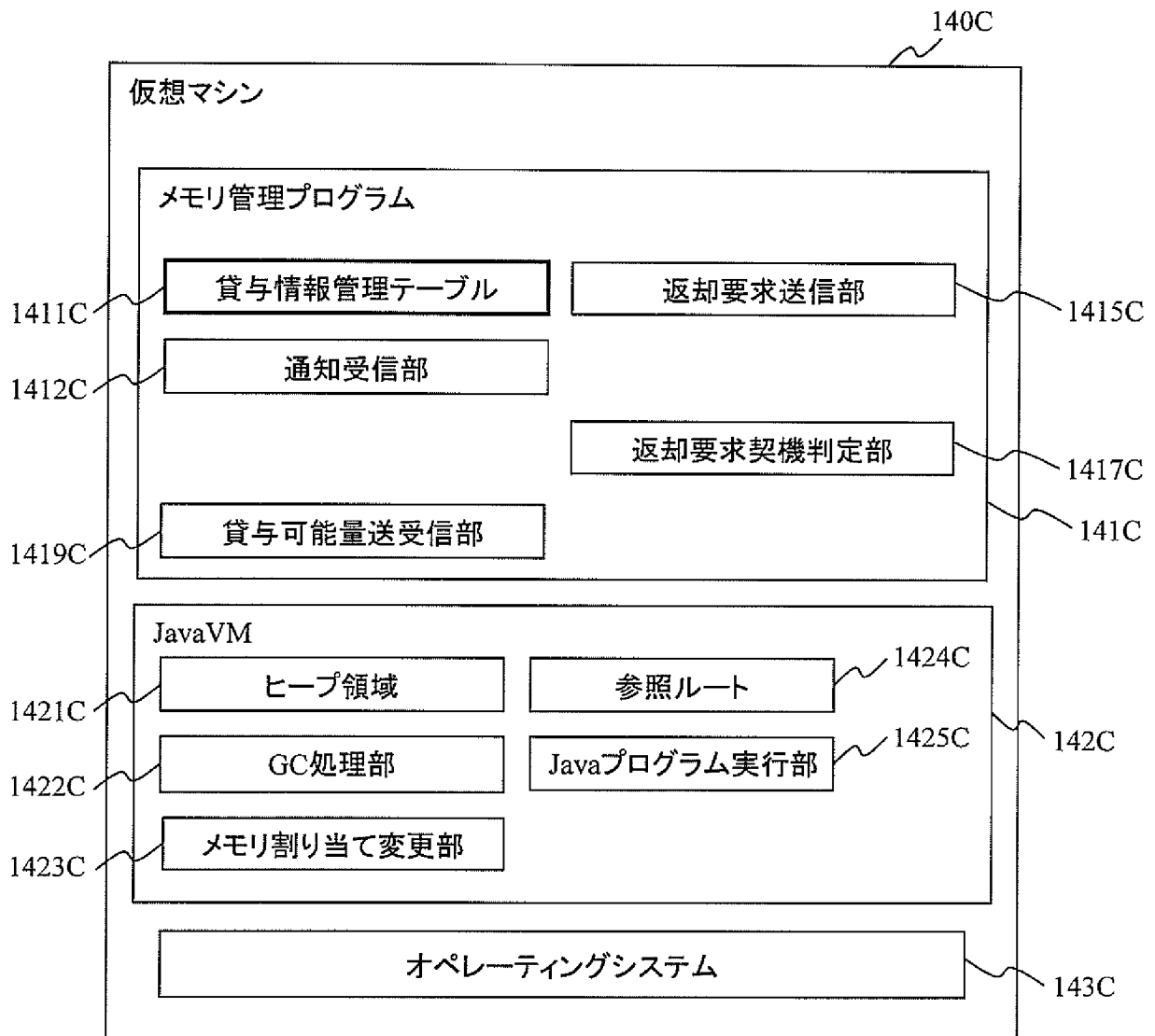
[図17]

図 17



[図18]

図 1 8



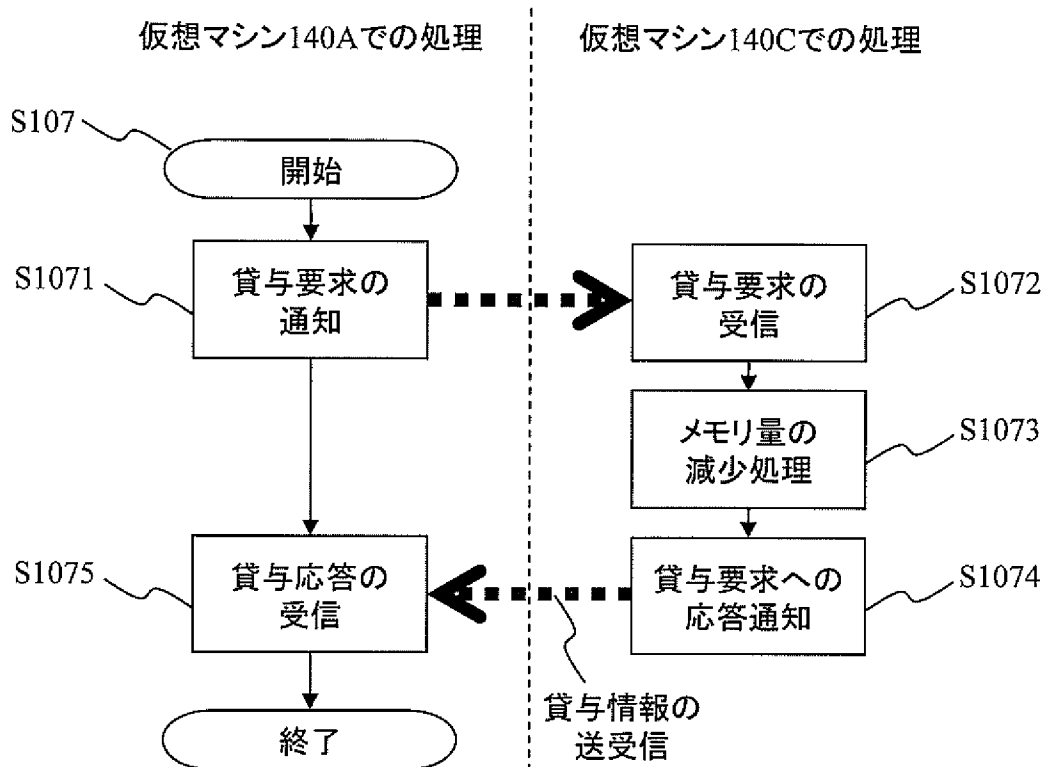
[図19]

図 1 9

貸与量	貸与先 メモリ総量	GC処理速度	貸与可能量
0MB	4096MB	0.001sec/MB	100MB

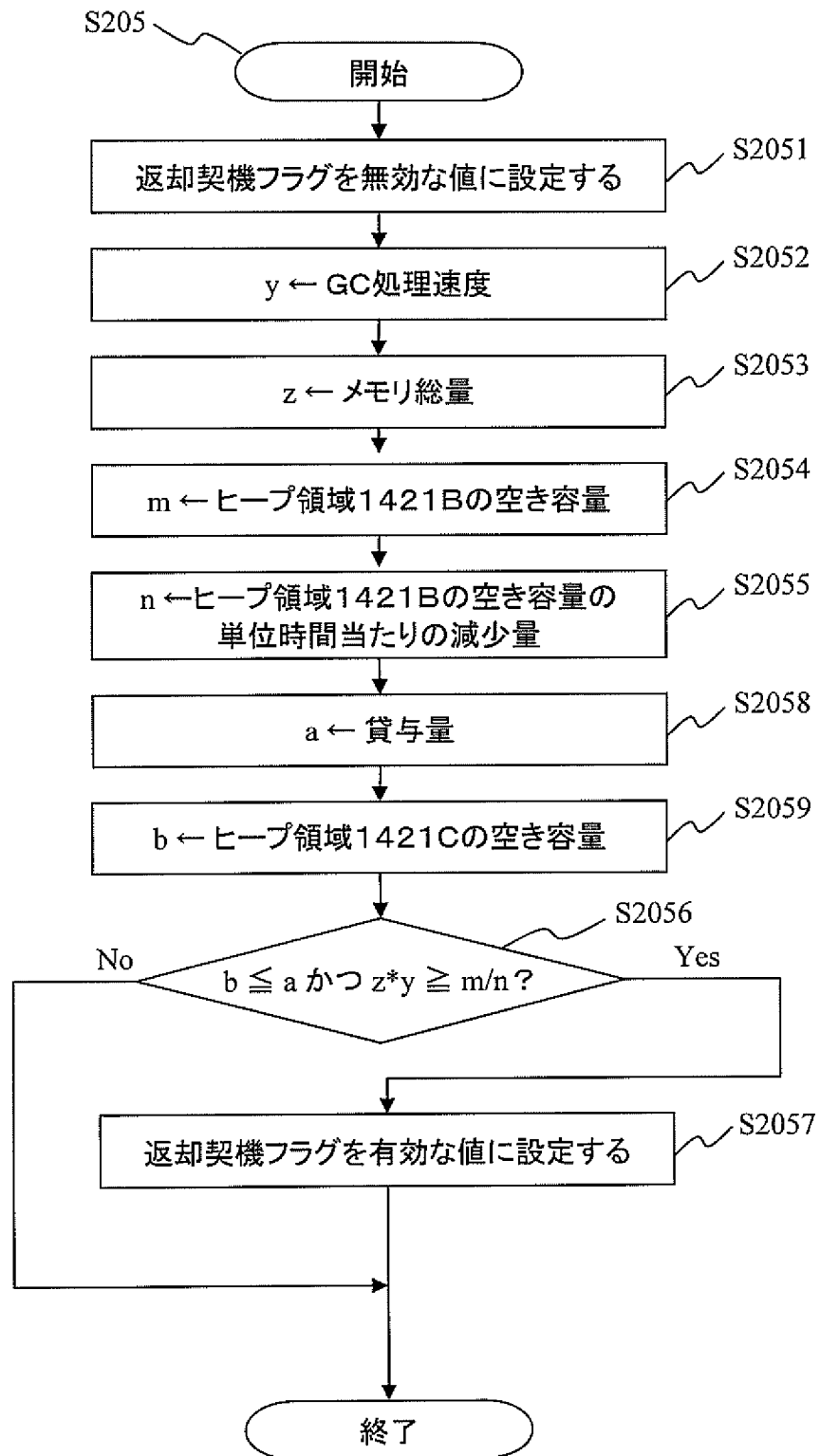
[図20]

図 20



[図21]

図 2 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/054066

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F9/50(2006.01) i, G06F12/02(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)

G06F9/50, G06F12/02

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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.
A	JP 9-62566 A (Hitachi, Ltd., Hitachi Software Engineering Co., Ltd.), 07 March 1997 (07.03.1997), entire text; all drawings (Family: none)	1-19
A	JP 10-97435 A (NEC Corp.), 14 April 1998 (14.04.1998), entire text; all drawings (Family: none)	1-19
A	JP 4-167152 A (NEC Corp.), 15 June 1992 (15.06.1992), entire text; all drawings (Family: none)	1-19

☒ 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
18 April, 2011 (18.04.11)

Date of mailing of the international search report
26 April, 2011 (26.04.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/054066

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-249955 A (Ricoh Co., Ltd.), 17 September 1999 (17.09.1999), entire text; all drawings (Family: none)	1-19
A	JP 2003-150394 A (Hitachi, Ltd.), 23 May 2003 (23.05.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-19

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G06F9/50(2006.01)i, G06F12/02(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. G06F9/50, G06F12/02

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 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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
A	JP 9-62566 A（株式会社日立製作所，日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社）1997.03.07，全文，全図（ファミリーなし）	1-19
A	JP 10-97435 A（日本電気株式会社）1998.04.14，全文，全図（ファミリーなし）	1-19
A	JP 4-167152 A（日本電気株式会社）1992.06.15，全文，全図（ファミリーなし）	1-19
A	JP 11-249955 A（株式会社リコー）1999.09.17，全文，全図（ファミリーなし）	1-19
A	JP 2003-150394 A（株式会社日立製作所）2003.05.23，全文，全図	1-19

☒ 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

1 8 . 0 4 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

2 6 . 0 4 . 2 0 1 1

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 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

鈴木 修治

5 B

3 5 6 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 4 5

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
	(ファミリーなし)	