

# 開発の効率化と安全性のためのリソース管理

－ マルチスレッドに最適化したゲームシステムの最重要要素 －

2014 年 2 月 18 日 初稿

板垣 衛

## ■ 改訂履歴

稿	改訂日	改訂者	改訂内容
初稿	2014 年 2 月 18 日	板垣 衛	(初稿)

**■ 目次**

■ 概略 .....	1
■ 目的 .....	1
■ 要件定義 .....	1
▼ 基本要件 .....	1
▼ 要求仕様／要件定義 .....	2
● システム間の依存関係 .....	2
● リソースハンドルに関する要件 .....	3
● リソース要求とリソースの共有に関する要件 .....	4
● リソース構築に関する要件 .....	6
● メモリ管理に関する要件 .....	7
● 特殊なリソース構築に関する要件 .....	10
● マルチスレッドの最適化に関する要件 .....	10
● 一時的なメモリ削除と復元 .....	12
● リソースの自動リロード .....	12
■ 仕様概要 .....	13
▼ システム構成図 .....	13
■ データ仕様 .....	13
▼ リソース管理データ .....	13
■ 処理仕様 .....	13
▼ リソース構築／削除処理 .....	13
▼ リソースアクセス処理 .....	13
▼ バックグラウンド構築処理 .....	13
▼ リソースキャッシュ .....	14
▼ リソース再配置 .....	14
● 再配置可能なリソースと不可能なリソース .....	14
▼ リソースの自動リロード .....	14
▼ リソースの一時削除と復元 .....	14
■ プログラミング手法 .....	14
▼ リソース構築処理：ビルダーパターンの実践 .....	14
▼ リソースアクセス処理：リード・ライトロックの活用 .....	14

Draft

## ■ 概略

マルチスレッドに最適化したリソース管理システムを設計する。

ファイルマネージャと連携したリソースの自動リロード機能や、シーンマネージャと連携したリソースの一時削除と復元機能、安全かつ柔軟にリソースを扱うためのプログラミングモデルについても解説する。

## ■ 目的

本書は、マルチスレッドに最適化したリソース管理システムを構築することにより、多数のプログラマーが参加するプロジェクトであっても、安全かつ効率を損ねることなくマルチスレッドを活用したシステムを開発できるようにすることを目的とする。

リソースアクセスのプログラミング手法を標準化することで、自然とマルチスレッドに最適なプログラミングを行えるものとする。そして、マルチスレッドで同時アクセスを要するデータのほとんどを扱うものとするすることで、問題の発生を抑える。

分かり易く統一的なプログラミング手法により、開発効率を向上させつつ、処理のパフォーマンスを高めることを大きな目的とする。

## ■ 要件定義

### ▼ 基本要件

本書が扱うシステムの基本要件は下記の通り。

- ・ 基本的に、「モデル」や「テクスチャ」などのリソースファイルを読み込んで、メモリ上で管理するための、汎用リソースマネージャとする。
- ・ マルチスレッドに最適化し、リソース構築・アクセスの両面において、最良のパフォーマンスを実現しつつ、マルチスレッド特有の問題を極力抑えた安全性の高いシステムを構築する。
- ・ ファイルの読み込みはリソースマネージャが行い、リソースを扱う（ゲーム側の）各処理系が読み込み処理を行う必要はないものとする。
- ・ 既に構築済みのリソースと同じリソースの構築要求があった場合など、リソースはできる限り自動的に共有し、無駄な構築処理を省き、処理効率とメモリ効率を最大限に高

めるものとする。

- ・ 同様に、リソース削除のタイミングも、共有状況などに基づいて、リソースマネージャが適切に判断するものとする。
- ・ リソースマネージャは、リソースファイルに基づく静的リソースだけではなく、任意のデータを扱えるものとする。
  - スレッド間で共有の必要な情報のほとんどを、リソースマネージャが備えるスレッドセーフ機構の恩恵を受けて安全かつ効率的に扱えるものとする。
- ・ シーンマネージャと連携し、一時的にリソースを削除し、また復元する機能を備えるものとする。
  - 例えば、ムービー再生のために大きな連続領域が必要となった場合、リソースの管理情報は残したまま、特定のメモリブロック上のリソースを全て削除し、ムービー再生が終わったあと、自動的に再度ロードして構築し直すといった処理に対応する。
  - また、例えば、メインメニュー（ゲーム中いつでも開ける）の中の一部のコンテンツに、多くのリソースを要するリッチなものがあった場合、リソースの管理情報は残したまま、任意の（敵・NPCなどの）リソースを削除し、そのコンテンツを抜けた時に再構築するといった要件に対応する。
- ・ 上記のムービーの例のようなメモリブロックを扱う上で困らないように、同じリソースでも必ずしも共有せずに、別のメモリブロックに構築するような柔軟な制御も行えるものとする。
- ・ コンテンツ制作をランタイムでトライ＆エラーするために、ファイルマネージャと連携し、リソースのリロード（一旦破棄してロード・構築し直し）に対応するものとする。

#### ▼ 要求仕様／要件定義

以下、本書が扱うシステムの要件を定義する。なお、要件として不確定の要求仕様も併記する。

- ・ ゲームで扱うほとんどの「リソース」は、「リソースマネージャ」によって管理される。
- ・ 「リソースファイルのロード」「リソースの構築」「リソースの破棄」さらに「リソースへのアクセス」に対しては、必ずリソースマネージャを通さなければならない。

#### ● システム間の依存関係

リソースマネージャとファイルマネージャは密接に連携するが、その依存関係は、リソースマネージャ⇒ファイルマネージャの一方方向である。

- リソースマネージャは起動時にファイルマネージャにオブザーバー（コールバック）

を登録する。オブザーバーにより、リソースマネージャが「自動リロードファイル」を読み込むと、コールバックが発生する。

- リソースマネージャとシーンマネージャは密接に連携するが、その依存関係は、シーンマネージャ⇒リソースマネージャの一方向である。
- 基本的に、シーンマネージャが管理するシーンオブジェクトが、自身に関連するリソースのハンドルを保有してリソースを操作・アクセスする。

## ● リソースハンドルに関する要件

リソースは構築を要求された瞬間にユニークな「リソースハンドル」が発行される。  
(以降単に「ハンドル」と表記)

- リソースを要求した各処理系（主には「シーンオブジェクト」）は、発行されたハンドルを保持し、そのハンドルを使用してリソースにアクセスする。
  - リソースの構築状態（「ロード中」など）もハンドルを使用して確認できる。
  - リソースが不要になった時点で明示的にハンドルを解放する必要がある。（シーンオブジェクトのデストラクタを利用するなどして、確実な解放を行う。）
- 他の処理系がリソースを参照する必要がある場合は、ハンドルの受け渡しを行う。
  - 例えば、描画スレッドにはモデルやテクスチャなどのリソースハンドルを受け渡す。
  - リソースのポインタを受け渡すことは厳禁。
- 各処理系は、リソースのポインタを長期保持してはならず、一連の処理ごとにハンドルを通してリソースを参照しなければならない。
  - リソースはメモリ再配置が行われる可能性がある。
  - リソースは削除されている可能性がある。
  - 数フレームに渡るような長いバックグラウンド処理（例えば経路探索など）を行う場合も、時折リソースを参照し直すことで、他の処理による更新や削除の機会を与える。
- ハンドルを通してリソースアクセス時は、自動的にリソースをロックするため、アクセスの途中で再配置や削除が行われないことを保証する。
  - ロックについては、マルチスレッドの最適化要件として後述する。
- ハンドルは 64bit の整数。
- ハンドルは、「任意の識別データ」（上位 32bit）＋「リソースファイルパスの CRC 値」（下位 32bit）で扱う。
  - 純粋な静的リソース（ファイルから読み込んだリソース）は、上位 32bit が 0。
  - 上位 32bit は、静的リソース以外の目的でリソースマネージャを利用する際に使用する。
  - 例えば、「3D モデルの姿勢データ」は、上位 32bit は 24bit の「シーン ID」＋8bit の「データ種別 ID」で、下位 32bit は「モデルファイルの CRC 値」といった構成になる。
  - また、例えば、「キャラクターの HP などの管理データ」は、24bit の「シーン ID」＋8bit の

「データ種別 ID」+下位 32bit は 0 といった構成になる。

- 管理されるリソースの数だけリソースハンドルが発行され、それぞれリソース管理情報を持つ。
  - リソース管理情報は、リソースの構築状態や対象とするメモリなどの情報を扱う。
  - リソース管理情報は、検索効率のために、ハンドルをキーにした平衡木で管理する。(赤黒木を想定)
  - リソース管理情報のツリーは、幾つかの種類(先頭ノードが異なる)に分割して扱う。
    - ・ ツリーの種類は、「構築要求ツリー」「ロード／構築中ツリー」「構築済みツリー」「削除待ちツリー(再利用のためのキャッシュ扱い)」「保留ツリー」。
    - ・ ツリー内のノードの連結操作が発生すると、その間ツリーがロックされる。それにより、他のスレッドからのリソース検索処理がブロックされてしまう。ツリーが分割管理されることにより、そのブロックの機会を減らす。

## ● リソース要求とリソースの共有に関する要件

各処理系(主に「シーンオブジェクト」)から「リソース要求」された際、リソースマネージャは、リソースの構築状態に応じた処理を行う。

- リソースがどのツリーにも存在しない場合、新たにリソース管理情報を作り、「構築要求ツリー」に連結する。
- リソースがすでに存在する場合、そのリソースを共有する。
  - リソースの参照カウンタをカウントアップする。
  - 構築済みのリソースの場合、リソースを要求した直後からリソースにアクセス(参照)可能。
- 他のスレッドからアクセス(参照)可能なリソースは基本的に「構築済みツリー」に連結されたもののみ。ここから見つからなければリソースアクセスは失敗となる。
- 構築が終わったリソースや、再要求された削除済みリソースは、「構築済みツリー」に連結し直す。
- 各処理系がハンドルを開放し、参照がなくなったリソースは「削除待ちツリー」に連結し直す。
- 「構築済みリソース」のリソース本体のみが破棄されて、「ロード／構築中ツリー」に戻されるケースもある。(後述する)
- 「構築済みツリー」への連結、および、「構築済みツリー」からの連結の削除が発生すると、そのツリー操作が行われている間、「構築済みツリー」へのアクセスがブロックされる。そのような操作が頻繁に発生すると全体のパフォーマンスを損ねるので、ツリーの連結操作は、ゲームループ中の特定のタイミングで集中的に行うようにする。
  - 「ロード／構築中ツリー」のリソースは、構築が終わってもすぐには「構築済みツリー」に連結せず、集中処理のタイミングで組み替える。



- 「削除待ちツリー」にあるリソースが要求された際、すぐには「構築済みツリー」に連結せず、集中処理のタイミングで組み替える。その間、参照カウンタがカウントアップしているので、実際の削除対象にはならない。
- 参照を失ったリソースも同様に、集中処理のタイミングまでは「削除済みツリー」への移し替えを行わない。その間、参照カウンタが0のため、「構築済みツリー」に連結された状態でも、アクセス不可として扱う。
- アクセス中のリソースはロックによって保護されるため、アクセスの途中で削除されることはないが、ツリーの組み替えは行われる可能性がある。
  - ・ リソースアクセス中は、検索が済んでいるのでツリーが変わっても問題がない。
  - ・ リソースアクセス中は参照カウンタを更新せずにロックのみで保護するため、「参照カウンタに基づくツリーの組み替え」は行われる。
- このような連結処理のタイミング調整があるため、「削除済みリソース」が再利用される際は、構築済みリソースであるにも関わらず、すぐに利用できない。
- ツリーの連結し直しのために1フレーム待たされることになる。
- 「構築要求ツリー」から「ロード／構築中ツリー」への組み替えは、「リソース構築管理スレッド」が「構築要求ツリー」の状態を監視して、随時行う。
- 「構築要求ツリー」のリソースの参照が失われた場合、その時点でノード（リソース管理情報）を破棄する。
- 「削除待ちツリー」には連結されない。
- 「ロード／構築中ツリー」のリソースの参照が失われた場合、ファイル読み込みをキャンセルして、ノードを破棄する。
- 「削除待ちツリー」には連結されない。
- 構築が済んでいて「構築済みツリー」への連結待ちの状態だったものは、「削除待ちツリー」に連結される。
- リソース共有の効率を向上させるために、アーカイブファイルのリソースを構築する際は、アーカイブ内のファイル一つ一つを別々のリソースとして管理する。
- 例えば、モデルとテクスチャをアーカイブしている場合、リソース管理上はそれぞれを別リソースに分けて管理する。
- 読み込み効率をよくするために、同じリソースファイルが複数のアーカイブファイルに分散している場合があることと、整然としたメモリ管理の観点から、単純なリソース管理を徹底する。
- ファイルマネージャからアーカイブファイル内のファイルリストがリソースマネージャに返されると、各ファイルのリソースが要求（構築）される。
- アーカイブファイルと、アーカイブ内の各ファイルは、依存関係が成立する。
  - ・ アーカイブが「親リソース」で、アーカイブ内の各ファイルが「子リソース」という関係が成立する。しかし、依存関係は親リソースが子リソースを参照する方向である。
  - ・ 親リソースが子リソースを参照して参照カウンタをカウントアップする。

- ・ アーカイブファイルを要求した各処理系は、親リソース（アーカイブファイル）のハンドル一つを保持しておけば、子リソースが削除されることはなく、親リソースのハンドルを開放すれば、子リソースも解放できる。
- ・ 親リソースのハンドルから子リソースのハンドルを取得できる。
  - ・ 例えば、描画スレッドに投入する情報としては、アーカイブのハンドルではなく、そこから取り出したテクスチャのハンドルを渡す必要がある。

## ● リソース構築に関する要件

タイトル固有のリソース構築処理を使用可能。

- リソースを構築するための処理クラス（「リソースビルダー」と呼ぶ）を用意し、「リソース種別」と関連付けてリソースマネージャに登録する。
- 「リソースビルダー」は任意の処理が可能。
  - ・ ファイルを読み込んで構築するものに限定しない。
- 例えば、敵キャラの HP や STR を管理する「CEnemyStatus」というクラスのインスタンスをリソースとして扱うことも可能。
  - ・ こうしたデータ管理も、マルチスレッド処理が必要ならリソースマネージャを通してメモリの安全性を確保する。この例の場合、AI 処理をマルチスレッド化した場合に安全にアクセスできる。
  - ・ リソースビルダーはデフォルトコンストラクタによる初期化しか行わないため、その後キャラ固有の情報をセットしたりするのは、「構築完了後」の処理となる。
- ファイルをそのままコピーして済むものは、リソースビルダーの処理を必要としない。
  - ・ リソースビルダーの登録時に「ファイルコピーのみ」と指定すれば、処理を記述せずとも、リソースマネージャがコピー処理を行う。
- アーカイブファイルのリソースビルダーでは、アーカイブ内ファイルのリストがファイルバッファに格納されて渡されるので、それに基づいてそれぞれの構築要求を出す。
- リソース要求時は、「リソースファイル」（指定不要な場合もある）、「リソースビルダー」、「構築先のメモリ」（オプション）を指定する。
  - ・ 「リソースビルダー」の属性設定で固定される構築要件もある。
    - ・ 例えば、「コピーのみで完結するか？」や「メモリ再配置可能か？」といった要素はリソースビルダーで指定される。
    - ・ 「構築先のメモリ」もデフォルトはリソースビルダーによって指定されるが、任意に変更することができる。
- リソースファイルのロードはファイルマネージャによってバックグラウンドで行われる。

- リソースの構築は「ジョブスケジューラ」を使用して、マルチスレッドで並行処理する。
  - 「ジョブスケジューラ」については、別紙の「サービス」によるマルチスレッドの効率化を参照。
  - 「リソースビルダー」は、スレッド（ジョブ）のローカル変数としてインスタンス化して使用する。（このプログラミング手法は後述する）
- リソースを破棄する際もリソースビルダーの処理が実行される。
  - ファイルをそのままコピーして済むものは、リソースビルダーを使用せずに処理する。
  - リソースビルダーにより、適切なデストラクタ呼び出しを行う。
  - リソースの破棄もジョブとして実行される。

## ● メモリ管理に関する要件

リソースに必要なメモリは、リソースマネージャがリソース用に管理するメモリマネージャを使用して確保する。

- リソースマネージャは、複数のメモリブロックを管理する。
  - 巨大なヒープ一つでメモリ管理するのではなく、複数のメモリブロックを用いることで、ゲームを制御し易くする。
- 例えば、「再配置可能なリソース」と「再配置不可能なリソース」はメモリブロックを分けておいた方が効率的である。
  - 混在は可能だが、それだと再配置が効率よく行われない。
- また、例えば、「グラフィックリソースブロック A（削除が許されない）」と「グラフィックリソースブロック B（削除してもよい）」に分けてメモリブロックを管理することで、「ムービー再生のための大きな連続領域が必要」といった要求に応じてリソースの一括削除を行う。
  - この時、管理情報は削除せず、ロード中かつサスペンド（停止）状態に戻す。
  - リソース管理情報は「構築要求ツリー」から「ロード／構築中ツリー」へ組み替えられる。
  - ムービーが終了してサスペンドが解除されると、自動的に再ロードと構築が行われる。
- リソース管理情報のためのメモリは、管理数の上限を決めて固定数の情報をあらかじめ確保しておく。
- リソースに必要なメモリの確保は、リソースビルダー内の処理で任意に行う。
  - ファイルをそのままコピーして済むものはリソースマネージャが行う。
  - メモリ確保の際に、再配置可能なメモリとして確保するか、不可能なメモリとして確保するか指定する。（メモリマネージャの機能）

- リソース構築開始時に、最終的なメモリサイズが不明なリソースは、メモリマネージャの機能により、一旦大きめにメモリを確保した後に、サイズを小さくすることができる。
  - 例えば、一旦ファイルサイズの 1.5 倍のメモリを確保して、最終的に 1.2 倍で済んだなら、メモリマネージャに通知してメモリサイズを変更する。
  - 最後に大きくすることはできない。どうしても必要なら自前でメモリを確保し直すなどする。
- リソース管理情報では、2 つまでメモリ情報を管理する。
  - メインメモリ+GPU メモリのように、二つ一組で一つのリソースを構成するようなものを扱える。
  - リソースの共有はリソース単位で行うのみで、メモリ情報ごとの共有には対応しない。
  - それ以上のメモリ確保も可能だが、リソースマネージャが直接管理できないので、リソースビルダーを通した処理で、確実な破棄を行う必要がある。
  - リソースごとのリソース管理情報は、確保中のメモリサイズを保持するが、必ずしも正確である必要はない。優先度の高いリソースにメモリを譲る場合などに参考にされるサイズである。複雑なメモリ管理をしているリソースは正確な集計が難しい場合がある。
- リソースは「メモリ再配置」(コンパクション)の機能により、可能な限り連続領域を大きく確保する。
  - メモリ再配置は、メモリマネージャの機能で行う。
  - メモリ再配置は、リソースマネージャがメモリマネージャに対して明示的に実行する。
    - ・ メモリマネージャが自動的に実行することはない。
    - ・ メインループ中のある一点でのみ、リソース全体をブロックした上で (リソースツリーをライトロックした状態で)、集中的に処理する。
    - ・ 再配置は完全に実行せず、そのフレームで許された時間の分だけ進める。
  - メモリマネージャが管理するメモリは、メモリノードごとに再配置の可/不可が設定され、あとから変更することもできる。再配置不可設定のリソースや、構築・破棄中のリソースは、確保したメモリに対して再配置不可設定を行い、構築完了後に再配置を許可するなどする。これはリソースマネージャが適切に処理しなければならない。
- リソース構築は「メモリがある限り」という条件で構築を試みる場合がある。つまり、「リソース要求」は常に「成功必須」ということではない。リソースマネージャは、このような要件に柔軟に対応する。
  - 例えば「メモリが許す限り NPC を出現させる、なければ出なくていい」といった処理要件に対応する。
  - 通常の処理では、リソース要求に対してメモリが足りない場合、メモリが確保できるまでリソース構築をリトライし続ける。リソースマネージャは、最適なリトライを行えるようにサポートする。
    - ・ リソースマネージャは、この「メモリ不足」が発生した時に、「削除待ちリソースの削除」

や「メモリ再配置」を積極的に行い、メモリを空けようとする。

- ・ まず、「削除待ちリソース」が残っている限りは、メモリ確保要求の中で要求されるメモリが得られるまで削除を行う。
  - ・ その上でメモリ確保に失敗した場合は、一旦リソース構築処理を失敗終了させなければならない。
  - ・ リソースビルダーのリソース構築処理では、「そこまで確保したメモリを全て破棄した上で」構築処理を失敗終了させなければならない。
  - ・ 途中までの確保を捨てずにリトライしたい場合は、リソースビルダーの処理の中で、独自のループ・リトライ処理を記述する必要がある。ただし、ジョブのライフサイクルが長くなるので、推奨されない方法。
  - ・ 失敗終了の際に、リトライ要求するか諦めるかを指定する。
  - ・ リトライの前に、どのメモリに対して、どれだけのメモリが必要だったかをリソースマネージャに通知しておく。
  - ・ リトライ要求で失敗終了すると一旦ジョブ（スレッド）は終了し、次の再配置／削除処理後に再度実行される。
  - ・ 「メモリ再配置」はゲームループ中の特定のタイミングのみで行うので、再配置に頼る場合はそれまで待つことになる。
  - ・ リトライ処理は、リソースが必要とするメモリの再配置・削除が発生しない限り、リトライが起こらない。
  - ・ リトライ発生中は、同じメモリを使用するリソースで、「優先度」が低いものは、構築が待たされる。
  - ・ リトライ発生時は、「優先度」が低く「一時削除が許可」されたリソースの中から、要求されたメモリサイズに近いものから順に削除し、「ロード／構築中ツリー」に戻す。
  - ・ 一定時間リトライに失敗したリソースは、「保留ツリー」に回し、リトライをやめる。
  - ・ このタイムアウト時間は、リソース構築時に任意の時間を指定できる。
  - ・ リソース構築を要求した処理系は、リソースが「保留」になったことでタイムアウトを知ることができる。
  - ・ 「保留」になったリソースは、再度構築を要求することができる。
  - ・ 「保留」リソースのハンドルが解放された場合、「削除待ちツリー」にも回さず、リソース管理情報を破棄する。
- メモリ制限はメモリブロックだけではなく、「メモリカテゴリ」によってさらに細かく行うこともできる。
- ・ リソース用のメモリブロックはできるだけ分けないほうが効率的にメモリを使用できるが、カテゴリごとにメモリの制限は行いたい、という時に使用する。
  - ・ 例えば、「メニューカテゴリ」「NPC カテゴリ」などの任意のカテゴリを扱い、リミットサイズを設定することができる。

- 空きメモリに余裕があっても、カテゴリのリミットを超える場合はメモリ確保に失敗する。
- このリミットの機能は、リソースマネージャではなく、メモリマネージャの機能として提供する。(リソースマネージャは正確に使用メモリサイズを管理しきれない)
- メモリマネージャの機能により、カテゴリごとのメモリ使用量が 90%を超えると警告を表示する。
  - ・ この警告のしきい値はカテゴリごとに設定可能。
  - ・ 警告は、しきい値を超えた瞬間にだけ表示する。
- このメモリ制限は、実行中にいつでも変更できる。
- メモリ制限を縮小した時、すでにそれ以上のメモリが確保されている可能性がある。その場合、強制的にメモリを破棄するようなことはなく、100%越の警告が一度表示される。

## ● 特殊なリソース構築に関する要件

リソース要求時に、同じリソースが存在していても、それを共有せずに、指定メモリへの構築を強制することができる。

- リソース構築時にメモリブロックを指定するが、メモリブロックが違うものでも可能な限り共有するのがデフォルトの挙動。
- 例えば、シーンを切り替える際、特定のメモリブロックを強制的に空けなければならない時、そのメモリブロックに含まれるメインキャラを、次のシーンのために別のメモリブロックに構築し直したいといった要件に対応する。
- 既存のリソースと同じリソースを別のメモリブロックに構築する場合は、可能な限りリソースからリソースへのコピーで済ませる。
  - ファイル読み込みは行わない。
  - リソースビルダーを必要としないリソースは、リソースマネージャがそのままコピーする。
  - リソースビルダーを必要とするリソースは、リソースビルダーのコピー処理を使用する。
  - リソースビルダーのコピー処理は、任意に作成する必要がある。
  - リソースビルダーのコピー処理が「コピー不可」を返した場合、通常の構築と同じ手順で、ファイル読み込みから構築を行う。

## ● マルチスレッドの最適化に関する要件

マルチスレッドに最適化するために、リソース一つ一つが「リード・ライトロック」を持つ。

- 読み込み操作は複数のスレッドが同時に処理可能だが、書き込み時は全てのスレッドがブロックされる。詳しくは別紙の「効率化と安全性のためのロック制御」を参照。
- マルチスレッドに最適化するために、リソース管理情報ツリーの組み替え操作、およ

び、メモリ再配置は、ゲームループ中のある一点でのみ、集中的に行う。

- ゲーム中に「構築済みツリー」の組み替えが発生すると、たびたびロックが発生してしまうので、その処理は集中的に行う。
- 「構築済みツリー」が関係しないツリーの組み替えは、マルチスレッドで随時行う。
- 「メモリ再配置」についても同様に、たびたびロックが発生させてしまうので、同じタイミングで集中的に行う。
- 実行のタイミングは、フレームの処理の最後。そのフレームでのリソース構築・削除の要求が全て集まったあと、描画スレッドを起動して大量のリソースアクセスが発生するまでの間に行う。
- 「構築要求ツリー」を監視して構築処理を開始する処理は、マルチスレッドによるバックグラウンドで行う。
  - バックグラウンドでリソース操作の監視と実行を行う専用スレッド「リソース操作スレッド」が常に稼働している。
- リソース操作スレッドの優先度は、メインスレッドより低く、ファイルマネージャより高く設定する。
- リソース操作スレッドは、以下の操作を行う。
  - 「構築要求ツリー」の状態を監視し、リソース要求があったら「ロード／構築中ツリー」に替える。
  - 「ロード／構築中ツリー」の状態を監視し、ファイル読み込みが必要なものはファイルマネージャに読み込み要求を出す。
  - 「ロード／構築中ツリー」の状態を監視し、ファイル読み込みが完了したもの、もしくは、ファイル読み込みが不要なものは、リソース構築を行うために、「ジョブスケジューラ」に「リソース構築ジョブ」（スレッド）を投入する。（コピー構築の場合も含む）
  - ファイルの内容をそのままコピーして済むリソースの場合、ファイルマネージャから取得したファイルサイズ分のメモリを確保し、そのバッファをファイルマネージャに渡す。（コピーが完了するまで再配置が行われないように注意）
  - 「ロード／構築中ツリー」から「構築済みツリー」へのつなぎ替えはしない。これはメインスレッドの処理。
  - リソース削除の要求を受けて、「削除待ちツリー」のリソース削除を行うために、ジョブスケジューラに「リソース削除ジョブ」（スレッド）を投入する。
    - ・ 要求されたメモリブロックとメモリサイズに基づいて、要求に見合ったリソースを選んで削除する。
    - ・ 「削除待ちツリー」に連結されていても、新たな参照によって再利用されるリソースもある。そのようなリソースは、参照カウンタが 0 より大きい値になっているので、削除の対象にはしない。
  - 全般的に、リソース操作スレッドは瞬間的に終わるような処理しか行わず、何らかの処理要求

に対してすぐに反応できる状態にしておく。

- ジョブ（スレッド）の完了はとくに監視しないため、ジョブ完了後のリソースの状態更新は、そのジョブ自身の処理で行う。
- 「ジョブスケジューラ」に関する説明は、別紙の「サービス」によるマルチスレッドの効率化」を参照。

## ● 一時的なメモリ削除と復元

「メモリ管理に関する要件」に示したように、構築済みのリソースが、リソースの存在を維持したまま、リソース本体を削除することがある。

- 一時的にメモリを空けて別シーンに切り替えたあと、また元のシーンに元の状態で復帰したい場合に使用する。
- リソースの一時削除が指定された場合、リソース管理情報は消さずにリソース本体だけ削除し、リソースは「構築要求ツリー」につなぎ替える。この時、リソースをさらに「サスペンド状態」に設定し、明示的に「再開」が呼び出されるまで構築を開始しない。

## ● リソースの自動リロード

ファイルマネージャと連携したリソースの自動リロードに対応し、ランタイムでリソースファイルを読み直してトライ&エラーを行うことを可能とする。

- ファイルマネージャに「自動リロード用アーカイブ」が読み込まれると、ファイルマネージャに登録したオブザーバーのコールバックにより、アーカイブに含まれるファイルのリストを得ることができる。
- このコールバックを受けて、リソース管理情報と照合し、該当するリソースが存在したならリソース本体だけを破棄して「構築要求ツリーにつなぐ」。
- これにより、「自動リロード用アーカイブ」のファイルを使用して、リソースが再構築される。
- この処理はデバッグ用の処理なので、処理全体をブロックして時間がかかっても良い。
  - 処理をブロックして対象のリソースを強制的に「削除候補ツリー」に連結し、「強制削除」状態にする。
  - 「リソース操作スレッド」は、「削除候補ツリー」から「強制削除」状態のリソースをピックアップして順次ジョブ投入する。
  - 「強制削除」状態のリソースは、新たなリソース要求で参照カウンタが変動しても、「削除候補ツリー」に残る。
  - 削除ジョブが完了した後は、「強制削除」状態を解除して、通常処理に任せておけばよい。参



照カウンタが残っているので、「構築要求ツリー」につなぎ替えられて、構築処理が開始される。

## ■ 仕様概要

### ▼ システム構成図

## ■ データ仕様

### ▼ リソース管理データ

## ■ 処理仕様

### ▼ リソース構築／削除処理

### ▼ リソースアクセス処理

### ▼ バックグラウンド構築処理

安全性重視、マルチスレッドの競合をふせぐ、構築完了待ちキュー

▼ リソースキャッシュ

▼ リソース再配置

- 再配置可能なリソースと不可能なリソース

▼ リソースの自動リロード

▼ リソースの一時削除と復元

■ プログラミング手法

▼ リソース構築処理：ビルダーパターンの実践

タイトル固有のリソース構築処理を扱うための処理構造を構築する。

に、リソース構築を扱う「リソースビルダー」オブジェクトと、それを生成する「リソースビルダービルダーシングルトン」を用意する。デザインパターンの「ビルダーパターン」「シングルトンパターン」「チェインオブレスポンスパターン」を活用する。

また、ゲームでの安定動作のために、動的メモリを確保しようしない構造にする。

▼ リソースアクセス処理：リード・ライトロックの活用

■■以上■■

## ■ 索引

索引項目が見つかりません。

開発の効率化と安全性のためのリソース管理

---

以 上