

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03081

研究課題名(和文) 遊休資源を利用して高スケーラビリティを実現するe-Learningシステム

研究課題名(英文) Highly scalable e-Learning system using idle resources

研究代表者

川村 尚生 (Kawamura, Takao)

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号：10263485

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、高価なサーバ機やクラウドサービスを使用しない、多数の学生が同時利用できる分散型e-Learningシステムの開発を行っている。本研究の主要成果は、教育機関内に存在している多数の遊休コンピュータを利用して、分散型e-Learningシステムの拡張性を高める手法を開発したことである。また、同一コンテンツを多数の学生が同時利用する場合の応答性能を向上させるために、コンテンツを複製してアクセスを分散させることとし、効率のよい複製配置方法を検討した。さらに、自動テストシステム、可視化システム等の分散システム開発のための環境構築手法についても研究を行い、他システムに応用可能な成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

遊休資源の利用については、グリッド・コンピューティングや分散ストレージの分野で様々な研究が行われてきた。しかし、他の仕事に使われている多数のコンピュータを遊休資源として利用する研究は進んでいない。特に、e-Learningシステムにおける動画視聴といった具体的な応用を想定した研究はみあたらず、本研究の独自性と言える。具体的な応用を想定することで、例えば個々のコンテンツの機密性をどのように担保すべきか、コンテンツの配置や冗長性をどのように設計すれば必要な性能が得られるのかといった実際的な課題が明らかになる。すなわち、本研究は基礎的な研究を現実利用するための応用的な研究と位置づけることができる。

研究成果の概要(英文)：We have developed a distributed e-Learning system that can be used by many students simultaneously without using expensive server machines or cloud services. The main result of this research is the development of a method to increase the scalability of the distributed e-Learning system by using a large number of idle computers in an educational institution. In addition, in order to improve response performance when many students use the same content at the same time, we studied an efficient method of duplicating and distributing access to the content. In addition, we also studied environment construction methods for the development of distributed systems such as automatic testing systems and visualization systems, and obtained results that can be applied to other systems.

研究分野：社会情報システム

キーワード：e-Learning 分散システム 遊休資源 分散トレーシング

## 1. 研究開始当初の背景

大学等の教育機関において、動画を中心とする教材を視聴した後、その理解度を小テストによって確認するといった **e-Learning** による研修の機会が増えつつある。具体的な例としては、コンプライアンス研修、個人情報保護研修、ハラスメント防止研修、情報セキュリティ研修、学生の海外渡航前研修等が挙げられる。これらの研修は、教職員全員、学生全員等極めて多数の受講者がごく短い期間に一斉受講することが多い。その最も顕著なケースは、コンピュータ演習室や、学生個人が所有する必携パソコンを利用して、学科や学部学生全員が授業として研修を受ける場合である。今後、遠隔授業等を含めて、多数の受講者が動画等のシステムの負荷が大きいコンテンツを一斉視聴する機会はますます増えるものと考えられる。

多数の受講者が一斉に動画を視聴する際に、なめらかに動画を送り続けるためには、**e-Learning** システムには極めて高い性能が要求される。一方で、平時において、学生が授業の予習・復習等に利用する目的に対しては、それほどの高性能は必要ではない。平時とピーク時とで要求される性能に大きな隔たりがあるため、**e-Learning** システムの調達にあたって、平時に性能を合わせてはピーク時の利用に耐えられず、ピーク時に性能を合わせては予算の無駄遣いになるというジレンマを抱えることになる。

そこで、これからの教育機関における **e-Learning** システムには、必要なときに資源を追加することで、利用者数や仕事の増大に適応する能力を持つことが要求される。どうすればこのようなスケーラビリティが確保できるのかを明らかにすることが本研究の核心である。一般に、パブリッククラウドサービスを契約し、必要に応じて CPU 性能等の資源を追加購入すれば、スケーラビリティは比較的容易に確保できるが、それに要する費用は現時点においては高額なものであり、昨今の大学等の教育機関を取り巻く経済状況ではそのような解決方法を採用することは困難である。本研究では、資源の追加にあたって費用を必要としないという条件のもとで、スケーラビリティを確保することを課題とする。

## 2. 研究の目的

教育機関において高いスケーラビリティを持つ **e-Learning** システムを実現するための方策を明らかにすることが本研究の目的である。すなわち、平時は小規模な資源で運用し、一斉に動画視聴する研修等の高性能が要求される場合に、追加費用なしで資源を追加することにより、利用者数や仕事の増大に適応できる **e-Learning** システムを実現することをめざす。資源の追加に費用をかけないために、遊休資源を利用することを考える。

大学等の教育機関には、多数のコンピュータが遊休資源として存在する。使われていないコンピュータが放置されているのではなく、業務に利用されているコンピュータのハードディスク等のストレージや CPU はほとんど使われていないのである。その傾向は事務系職員が使用するコンピュータにおいて特に顕著である。最近では情報漏洩を避けるため、ファイルを個々の職員が使うコンピュータ上に保存するのではなく、ファイルサーバ上に保存することがほとんどである。しかしながら、少ないストレージのコンピュータを調達しようとしても、現在では数百 GB から数 TB のディスクが搭載されている機種しかなく、ほとんどのコンピュータにおいて、多くのディスク領域が未使用のままとなっている。また、安価で処理能力の低いコンピュータを調達しようとしても、現在では、オフィス文書の作成程度で使い切れるような CPU 性能の機種は存在せず、CPU は起動中ほぼアイドル状態となっている。これらの遊休資源を利用すれば、費用負担なしで **e-Learning** システムのスケーラビリティを実現できる。

## 3. 研究の方法

### (1) 分散型 **e-Learning** システムの基本的な仕組み

図 1 に、本研究で提案する **e-Learning** システムの構成要素と、利用者が本システムを用いて学習するときの処理の流れを示す。

システムの構成要素は、保守時以外は常に存在するコアサーバ群と、利用者の増減に応じて動的に参加・離脱する遊休サーバ群に大別される。学習コンテンツはすべてのサーバ群に分散配置される。遊休サーバ群が参加・離脱する際には、必要に応じて、コンテンツの複製が配置された

り、削除されたりする。ユーザはコンピュータ、タブレット、スマートフォン等のウェブブラウザから、本システムにアクセスする。

利用者が本システムを用いて学習するときの処理の流れは以下の通りである。なお、下記箇条書きの番号は図 1 中の矢印付近に書かれた説明の番号と対応している。

- ①. 利用者が使用するウェブブラウザが、e-Learning システムを構成するコアサーバのいずれかにアクセスする。ここでは、特定のサーバではなく、コアサーバのいずれかとする。この実現には DNS を利用する。DNS は www.tottori-u.ac.jp 等の名前を 160.15.14.78 等の IP アドレスに変換する仕組みだが、DNS には 1 つの名前に複数の IP アドレスを登録しておき、問い合わせごとにその中から 1 つの IP アドレスを選んで返す機能がある。コアサーバ群をすべて登録しておくことで、負荷分散が図られると同時に、保守等で特定のサーバが停止している場合でもシステム全体のサービスは継続することになる。
- ②. コアサーバのいずれかが、すべてのサーバの中から適切な対応サーバを選んで、処理をリダイレクトする。図 1 では遊休サーバの 1 つが対応サーバになっているが、コアサーバが対応サーバになることもある。
- ③. 以降は、利用者のウェブブラウザと対応サーバが直接コンテンツをやり取りする。DNS が指定したコアサーバ自身ではなく、処理をリダイレクトされた対応サーバがコンテンツを提供することで、さらなる負荷分散を図る。ただし、対応サーバが利用者の求めるコンテンツを保持しているとは限らない。たまたま所持している場合は直接送り出し、保持していない場合は、そのコンテンツを保持しているサーバを探してコンテンツを受け取り、利用者に送り出す。

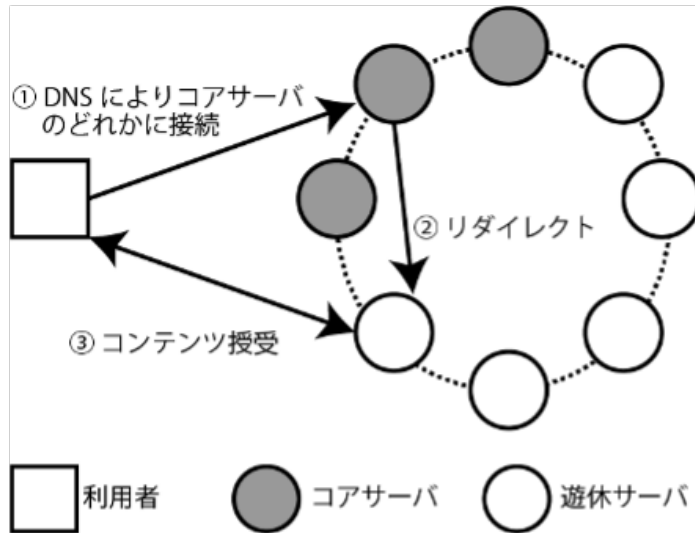


図 1 システムの構成要素と処理の流れ

## (2) 分散型 e-Learning システムの開発及び実験環境

研究の初期段階では、コアサーバ 4 台、遊休サーバ 8 台からなる実験システムを用いて開発および実験を行った。コアサーバには、平成 28 年度から 30 年度までの研究課題において科学研究費補助金で購入した Linux 機を充てた。遊休サーバは事務系職員が使用しているコンピュータを想定して Windows 機や Mac OS 機とし、これらについては本研究費で購入した。利用者のコンピュータとしてはノート PC の他、スマートフォンやタブレットも想定した。

研究期間の後半では、研究代表者の所属する学科が有する、80 台程度のコンピュータからなる計算機実習室を利用し、実環境での開発および実験を行った。

## 4. 研究成果

我々は、高価なサーバ機や大容量ネットワーク設備への投資を行うことなく、多数の学生が同時に使用できる分散型 e-Learning システムの開発を目指している。この e-Learning システムは、学習者が多数になっても応答速度が低下しないよう、動的に必要なだけの性能を確保すること、サーバの一部が故障したり、サーバの一部をメンテナンスのために停止させたりしても、システム全体としてはサービスを途切れなく提供し続けられることを目指し、複数台のコンピュータに問題データや機能が分担された分散システムとして設計している。

本研究の主要な成果は、遊休サーバの参加・離脱手法の開発と、コンテンツを分散管理する手法の開発、分散システム開発のための環境構築手法の開発に大別できる。順に説明する。

### (1) 遊休サーバの参加・離脱手法の開発

事務用 PC など、他の業務に使われているコンピュータの未使用ストレージを遊休資源として利用するために、システムに動的に参加・離脱する手法を開発した。特に問題となるのは離脱で、専用のコアサーバについては、コンテンツを他のサーバに移動させる等、必要な手順を踏んだ上で離脱させるべきだが、遊休 PC については、たとえばノート PC のパネルを閉じてスリープさせる等、システムから見れば必要な手順を踏まない不正離脱が一般的に行われると考えなければ

ならない。この場合、消失したコンテンツの回復および遊休 PC の状態整合性が問題となる。コンテンツの回復については、すべてのコンテンツに一定数の複製を持たせ、遊休 PC の不正離脱により複製数減少を検出した場合に、残された複製から複製数を増やす手法を開発した。遊休 PC がスリープからレジュームしたとき、自分自身は離脱したとは思っていない一方で、システム側は離脱と判断していることが状態の不整合であるが、このような場合に遊休 PC が自身の離脱を検出できる仕組みを開発した。

分散型 e-Learning システムでは、性能を高めるために、データの複製をシステム内の複数のノードに一定数コピーしておくが、ノードが離脱する際に、そのノードが持っていたデータが消失するので、それをいかに回復するかが大きな問題となる。正常に手続きを経た後に離脱する場合は、離脱するノード自らが複製を作成して適切なノードにコピーを配置することができるが、ノートパソコンのパネルを閉じてスリープさせた場合など、システム側から見ると不正離脱になる場合、他のノードがそれを検出してデータの複製数を増やさなければならない。両方の手法の性能差について実験を行い、正常離脱の場合でも複製を他のノードに任せても十分な性能が出ることを確認でき、離脱手法を統一できることがわかった。また、スリープしたノードがレジュームした時、不整合を検出することで、いったん正常離脱して再参加する仕組みを開発した。この際、キャッシュに残っているデータをなるべく再利用することで、データの複製にかかるコストを下げられるようにしている。

## (2) コンテンツを分散管理する手法の開発

同じ動画を多数の視聴者が再生する場合の応答性能を上げるためにはシステム上にコンテンツの複製を持ち、ユーザがアクセスする先を分散させる必要がある。また、複製は上記で述べた消失を防ぐためにも必要である。したがって、常にすべてのコンテンツの複製を  $n$  個用意することとする。 $n$  を大きくするとストレージの利用効率が低下するが、動画の同時視聴数が増えた場合等は一時的に多数の複製があったほうがよい。そこで、消失した場合に  $n$  個まで回復すべき通常の「強い複製」に加えて、消失した場合に回復しなくてもよい「弱い複製」を導入した。コアサーバには「強い複製」を配置し、遊休サーバには「弱い複製」だけを配置する。遊休サーバは頻繁にシステムに参加離脱すると考えられるためである。

## (3) 分散システムを開発するための環境構築手法の開発

分散型 e-Learning システムによらず、分散システムでは、台数を増やして実験を行ったり、台数を増やしたりした際に思ったように性能が上がらない場合に、どこがボトルネックになっているかを調べる必要がある。本研究では、比較的大規模な環境で実験し、性能をチューニングするための環境構築を行った。比較的大規模な環境とは、研究代表者らが属する学科の計算機演習室で、約 80 台のコンピュータが利用可能である。この規模の台数において、例えば全台においてユーザが同時にログインしたり教材をダウンロードしたりした際の遅延を計測するといったテストを人手で行うことは困難なので、自動テストシステムを開発した。これは、専用のスクリプト言語によってテストシナリオを記述することで、さまざまなテストを自動実行し、そのログを収集するものである。また、自動テストシステムが出力したログをわかりやすく視覚表示する可視化システムを構築した。これによって、各ノードの参加離脱によりネットワークが変化する様子や、各ノードにおいてメモリや CPU などの資源がどの程度使用されているかといった情報、さらに、各ノードの応答時間や、システム全体へのリクエストが各ノードにどのような割合で割り当てられているかといった情報を確認できる。

テストの際には、システム内で実行された各処理を追跡し、各処理間の因果関係やレイテンシなどの情報を収集・可視化しなければならない。複数の計算機からの情報収集を簡易化し、可視化によってシステムのボトルネックや不具合の発見などを補助するものとして分散トレーシングが存在しており、公開されている仕様として OpenTracing がある。OpenTracing は分散トレーシングの実現に必要なデータモデルと API の仕様を提供する。データは API により統一された方法で作成及び取得できる。OpenTracing を実装したシステムは存在しているが、遊休資源に対応したものはないので、本研究で開発を行なった。

一般に、分散システムでは、台数を増やして実験を行ったり、台数を増やしても性能が上がらなかつたりした場合に、ボトルネックを調べるのが大変な作業となる。また、多数のコンピュータを用いて自動テストを行ったり、得られたログを可視化したりする仕組みも欠かせない。このような開発環境について、分散型 e-Learning システムのみにとどまらず、広く分散システム全般に対して適用できる成果が得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 松本 尚幸, 東野 正幸, 高橋 健一, 川村 尚生
2. 発表標題 遊休計算機を含む分散型e-Learningシステムの 分散トレーシングによる性能評価
3. 学会等名 電気・情報関連学会中国支部第72回連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新谷 渉, 東野 正幸, 川戸 聡也, 高橋 健一, 川村 尚生
2. 発表標題 分散型e-Learningシステムにおける ノード離脱時のファイル複製数維持手法の検討
3. 学会等名 電気・情報関連学会中国支部第71回連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川戸 聡也, 東野 正幸, 高橋 健一, 川村 尚生
2. 発表標題 遊休資源を活用したオンプレミス型CDNによる対外的なデータ通信量削減の提案
3. 学会等名 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-DPS-184, No. 17, pp. 1-6
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshiya Kawato, Masayuki Higashino, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura
2. 発表標題 Attempt to Utilize Surplus Storage Capacity as Distributed Storage
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Information and Computer Technologies (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川戸 聡也, 東野 正幸, 高橋 健一, 川村 尚生
2. 発表標題 コンピュータが有するストレージの余剰容量を分散ストレージとして活用する試み
3. 学会等名 情報処理学会 第180回 マルチメディア通信と分散処理研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高橋 健一  (Takahashi Kenichi)  (30399670)	鳥取大学・工学研究科・准教授   (15101)	
研究分担者	菅原 一孔  (Sugahara Kazunori)  (90149948)	鳥取大学・工学研究科・教授   (15101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------