

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 16 日現在

機関番号：12102  
 研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2010～2012  
 課題番号：22300020  
 研究課題名（和文） 協調アプリケーションを実行する基盤としての分散型 Web ブラウザ  
 研究課題名（英文） A distributed Web browser as an execution environment  
 for collaborative applications  
 研究代表者  
 新城 靖（SHINJO Yasushi）  
 筑波大学・システム情報系・准教授  
 研究者番号：00253948

研究成果の概要（和文）：Web ブラウザは、サーバ側で動作するプログラムのユーザインタフェース、および、拡張機能モジュールの実行環境を提供している。しかしながら、協調アプリケーションを動作させようとする、極めて貧弱な機能しか提供していない。本研究では、Web ブラウザを、協調アプリケーションを実行するために有用な分散型オペレーティング・システムとして設計し直した。

研究成果の概要（英文）：Web browsers act as user interfaces of programs running in remote servers and provide execution environments for extensions modules. However, Web browsers provide very limited support for collaborative applications. In this research, we have redesigned a web browser as a useful distributed operating system for running collaborative applications.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2012 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	5,400,000	1,620,000	7,020,000

## 研究分野：情報学

科研費の分科・細目：情報ネットワーク

キーワード：World Wide Web、Web ブラウザ、分散型オペレーティング・システム、協調アプリケーション、ソーシャル・ネットワーキング・サービス、インスタント・メッセージング、ウェブシステム、サービス情報学

## 1. 研究開始当初の背景

現在、Web ブラウザは、単に Web サーバに蓄積された情報を表示する道具にとどまらず、次の 2 種類のアプリケーションに対して OS (Operating System) として位置づけられる。

(1) サーバ型：Google Mail (Gmail) に代

表されるような Ajax (Asynchronous JavaScript + XML) に基づき構築されたプログラム。ブラウザは、この型のアプリケーションに対してマウスやキーボード等の入出力機能や画面やスピーカへの出力機能を提供している。

(2) 機能拡張型：ブラウザに動的に読み込

まれ実行される機能拡張モジュール。Plug-in、Add-on、Extension とも呼ばれる。機能拡張モジュールは、従来、Flash 等の非標準のコンテンツの表示や検索支援バーのように Web サーバと連携するものだけであったが、最近では、電子メール機能や世界時計機能など Web とは無関係なものも多数開発されている。

現在の Web ブラウザを OS として捉えた場合、PC(Personal Computer)用の OS と比較してそのアプリケーションの実行・開発環境としては、制約が強極めて貧弱である。特に複数人で情報を共有するような協調アプリケーションを動作させる場合に問題が生じる。サーバ型のアプリケーションでは、協調機能は Web サーバで実装される。サーバ側のプログラムと連携して動作する JavaScript のプログラムや Java アプレットには、セキュリティを高めるために、Same Origin Policy と呼ばれる制約が課せられており、それから送信された Web サーバの資源にしかアクセスできない。この状況は、分散型 OS に対応させて考えると、ファイル・サーバごとにそのファイルを操作するためのアプリケーションが存在するという不自然な状況であることがわかる。機能拡張型のアプリケーションの場合は、複数のサーバにまたがった操作も可能である。しかしながら、アプリケーションごとに、利用者認証やアクセス制御の設定を繰り返す必要が生じる。

## 2. 研究の目的

本研究では、現在の Web ブラウザの設計を根本的に見直し、その上で動作する機能拡張型のアプリケーションに対して OS 的な支援を行う。これを、分散型ブラウザと呼ぶことにする。分散型ブラウザは、表面的な見かけや利用者インタフェースは従来の Web ブラウザと変わらないが、内部の構造が大きく異なる。機能拡張型のアプリケーションに対して複数のブラウザを簡単に使える API (Application Program Interface) を提供する。また、従来はサーバ型のアプリケーションとして実装されていた協調的な機能を機能拡張型のアプリケーションとしても簡単に実現できるようにする。

本研究では、分散型 Web ブラウザの機能として、安全な通信路と分散ストア機能を提供する。これらの機能は、協調アプリケーションが API を通じて簡単に利用できるようにする。

本研究では、いくつかの具体的なアプリケーションを開発し、分散型ブラウザの機能を検証する。まず、個人用マッシュアップツールを実現する。これは、個人のユーザ名とパスワード等で保護された Web ページの一部を、パスワード等を秘匿しながら他の人にア

クセスさせることを可能にする。利用者は、プロキシ・サーバ内で電子メールの送受信と類似の仕組みでアクセス権を受け渡しできる。その他に、協調ブラウジング、コメント共有、協調動画視聴等のアプリケーションを実現する。これらのアプリケーションの実現を通じて、分散型 Web ブラウザを評価する。

## 3. 研究の方法

本研究では、分散型ブラウザを大きく 3 つの層に分割して開発する。

- ・基盤層
- ・本体
- ・アプリケーション層

基盤層は、ブラウザ間通信などのアプリケーションが共通に利用する機能を提供するものであり、分散型 OS と類似の機能を提供する。基盤層が提供する安全な通信と利用者認証は、ブラウザ間で互いに相手を認証し、暗号化された通信路を確立するためのものである。これらの機能を、本研究では、インスタント・メッセンジャの機能を利用して実現する。インスタント・メッセンジャは、利用者間で短いテキストを即座に交換するための仕組みである。

基盤層の機能である分散ストアは、アプリケーションが永続的なデータを保存するために利用されるもので、分散型 OS では、ファイル・システムに相当する。

ブラウザ本体の基本的な機能は、分散型ではない通常の Web ブラウザと同じである。たとえば、利用者からマウス操作やキー操作を受け取り、サーバから取得した HTML をレンダリングして画面に表示する部分は同じである。通常の Web ブラウザとの違いは、その上で動作する協調アプリケーションに対して基盤層をアクセスするための API を提供する点にある。

アプリケーション層では、個人用マッシュアップツール、協調ブラウジング、コメント共有、および、協調動画視聴を実現する協調アプリケーションを実現する。これらのアプリケーションの実装を通じて、本研究で実現した分散型 Web ブラウザの分散型オペレーティング・システムとしての機能を評価する。

## 4. 研究成果

分散型 Web ブラウザの基盤層が提供する安全な通信を実現するために、本研究では、インスタント・メッセンジャ Skype が提供するオーバーレイ・ネットワーク、および、XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) に基づくオーバーレイ・ネットワークを用いる。Skype は、独自の利用者認証機能、NAT (Network Address Translation) を超えて利用可能な暗号通信機能を持っている。さらに、Skype は、外部のアプリケーション

ョンから Skype を制御するための API を提供している。この API を活用することで、安全な通信と利用者認証機能を実現する。さらに、Skype は、コンタクトリストとして、通信相手のリストを管理する機能を持つ。分散型 Web ブラウザは、このコンタクトリストを協調アプリケーションから利用可能にする。これにより、協調アプリケーションは簡単に通信相手を識別したり、アクセス制御を行なったりすることができる。

通信基盤として、Skype のみに依存した場合、Skype の障害により分散型 Web ブラウザの機能がまったく利用できなくなる。この問題を解決するため、本研究では、Skype に加えて XMPP を利用可能にした。XMPP は、Google+、Facebook 等のソーシャル・ネットワークワーキング・サービスでもサーバを提供しており、広く利用可能である。また、比較的簡単に独自のサーバを実行することもできる。

Skype、および、XMPP を利用して、本研究では、分散型 Web ブラウザの通信機能として次の 2 つの実現した。

(1) RPC (Remote Procedure Call)

(2) WebSocket と類似の機能。

RPC は、初期の分散型オペレーティング・システムの研究でも標準的に提供された機能である。従来の分散型オペレーティング・システムとは異なり、分散型 Web ブラウザが提供する RPC では、通信相手をインスタント・メッセージング (Skype または XMPP) のユーザ名を利用することができる。また、RPC のサーバでは、コンタクトリストには含まれない利用者からの要求を遮断することもできる。

WebSocket とは、Web ブラウザで動作する JavaScript のプログラムが通常の Socket API と類似のモデルで通信可能にするための API、および、通信プロトコルの標準である。WebSocket は、Ajax のプログラムで問題となっていたサーバ側からクライアント側への通知を容易にしている。しかしながら、WebSocket 標準では、クライアント側の API しか定められておらず、Web ブラウザでサーバ的なプログラムを実行することはできない。

本研究では、WebSocket のこのような問題を解決する新たな通信機能を実現した。この機能を、FriendSocket と名付けた。FriendSocket は、WebSocket と類似のモデルと API を提供する。ただし、WebSocket とは異なり、FriendSocket では、クライアントだけではなく、サーバも記述することができる。また、通信相手をインスタント・メッセージングのユーザ名で識別できる点も異なる。

本研究では、分散型 Web ブラウザの基盤層

として次の 2 つの分散ストア機能を実現した。

• SkypeFS。Skype 上の RPC によりアクセス可能なファイル・システム。

• SkypeLinda。Skype 上の RPC によりアクセス可能な Linda タプル空間。

Linda タプル空間は、key-value 型の分散ストアの一種である。本研究では、Ruby 言語から利用可能な処理系を Skype 上の RPC から利用可能にした。

本研究では、Web ブラウザ Google Chrome において Skype による RPC 機能を利用可能にした。また、Web ブラウザ Mozilla Firefox において、XMPP による FriendSocket を利用可能にした。

これらの Web ブラウザを拡張した分散型 Web ブラウザで、次のようなアプリケーションを開発した。

(1) 個人用マッシュアップ・ツール

(2) 簡単な協調ブラウジング

(3) 簡単なコメント共有

(4) 協調動画視聴

マッシュアップ (mash up) とは、一般に XML Web サービスのコンポーネントを複数統合して利用することを意味する。従来のマッシュアップでは、サービスの提供者側の立場で行われており、サービスの利用者の立場では行われていない。たとえば、旅行業者がホテル、航空券、レンタカー等の予約を一括して行うような場合には、現在のマッシュアップは適している。しかし、ある利用者が複数の Web サイトに分散して保存している資源 (音楽、写真、ブログ、書籍管理) を統合して 1 つの資源として利用することは、現在のマッシュアップの技術では支援されていない。

本研究で実現した個人用マッシュアップ・ツールは、利用者の立場に立ち、インターネット上に分散した個人の資源を統合して利用する仕組みを提供する。自分が保持している Web 資源の一部を他人にアクセスさせたい利用者は、まず、個人用マッシュアップ・ツールのオーサリング機能を使ってパスワード等により保護された Web ページにアクセスする。パスワード等の機密データは、他人には知られない形で分散ストアに保存される。その Web ページにリンクが含まれていた場合には、同じ権限でアクセスを許すか、無効にするか、別のマッシュアップしたページへのリンクを埋め込む。他の利用者は、こうして作成されたページを個人用マッシュアップ・ツールの再生機能を使ってアクセスする。この保護されたページへのアクセス権は、分散型 Web ブラウザが提供する安全な通信路で受け渡しされる。

協調ブラウジングとは、遠隔の利用者がそれぞれ Web ブラウザを実行しながら、同じ

Web ページを閲覧できるようにするものである。本研究で実現した簡単な協調ブラウジングを実現するアプリケーションでは、遠隔の利用者間で URL だけでなく、Cookie も送受信できる。これにより、ユーザ名とパスワードで保護したページであっても、ユーザ名とパスワードを教えることなく閲覧することが可能になる。このアプリケーションでも、URL と Cookie を送受信するために、分散型 Web ブラウザが提供する安全な通信路が使われる。

分散型 Web ブラウザのコメント共有アプリケーションは、Web ページに対するコメントを利用者間で共有するものである。このアプリケーションでは、コメントを、URL をキーとして、SkypeLinda タプル空間に保存する。この時、このコメントに対するアクセス制御のポリシーを、Skype のユーザ名を使って記述することもできる。

協調動画視聴アプリケーションでは、協調ブラウジングと同様に、遠隔の利用者が同一の動画を同時に視聴する機能を持つ。ある利用者が一時停止やシーク等の操作を行なった場合、他の利用者にも反映される。さらに、テキストやフリーハンド画像等で動画像に対してコメントを付加し、利用者間で共有することもできる。このアプリケーションでは、XMPP 上の FriendSocket を利用している。

本研究では、協調アプリケーションの実行基盤として分散型 Web ブラウザを実現した。その特徴は、インスタント・メッセンジャの機能を用いた安全な通信路と分散ストアを提供している点にある。本研究では、実際にインスタント・メッセンジャ Skype のオーバーレイ・ネットワーク、および、XMPP のオーバーレイ・ネットワークを利用して RPC と WebSocket 風の API を提供した。これらの API は、Google Chrome、または、Mozilla Firefox 上で動作する JavaScript で記述された協調アプリケーションから利用可能である。協調アプリケーションとして、本研究では、個人用マッシュアップ・ツール、簡単な協調ブラウジング、簡単なコメント共有、および、協調動画視聴を実現した。これらの実現を通じて、分散型 Web ブラウザが提供する通信機能と分散ストア機能が有用であることを確認することができた。

今後は、分散型 Web ブラウザで動作する協調アプリケーションをさらに増やしていきたいと考えている。また、現在実現した協調動画視聴では、視聴する動画データはインターネット、または、各利用者 PC にあるものしか扱えない。それは、インスタント・メッセンジャが提供する通信路では、動画データを送受信するためには不十分だからである。今後は、より高速な通信路を利用可能にし動画データの共有を実現したい。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

- [1] Shingo Takada, Akira Sato, Yasushi Shinjo, Hisashi Nakai, Koichi Sakurai and Kozo Itano: "A Simple Collaborative Method in Web Proxy Access Control for Supporting Complex Authentication Mechanisms", The 8th International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom 2012), pp.190-199 (2012). 査読有.  
[http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=6450907](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6450907)
- [2] 須藤 侑一, 新城 靖, 佐藤 聡, 板野 肯三, 中井 央: "分散型 Web ブラウザのためのソーシャル SQL データベースの提案", 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2012), ポスターセッション, 2 pages (2012). 査読無.  
<http://www.ipsj.or.jp/sig/os/index.php?plugin=attach&refer=ComSys2012%2Fposter&openfile=12-604-1.pdf>
- [3] 肖 焜瑤, 新城 靖, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三: "分散型 Web ブラウザにおけるネットニュースシステムの実現", 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2012), ポスターセッション, 2 pages (2012). 査読無.  
<http://www.ipsj.or.jp/sig/os/index.php?plugin=attach&refer=ComSys2012%2Fposter&openfile=12-609-1.pdf>
- [4] 櫻井 孝一, 新城 靖, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三: "ソーシャル・ルータの提案", 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2012), ポスターセッション, 2 pages (2012). 査読無.  
<http://www.ipsj.or.jp/sig/os/index.php?plugin=attach&refer=ComSys2012%2Fposter&openfile=12-605-1.pdf>
- [5] 郭 飛, 青沼 伴樹, 新城 靖, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三: "分散型 Web ブラウザの通信機能と協調動画視聴アプリケーション", 情報処理学会研究会報告, システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会(OS), 2012-OS-123(3), 8 pages (2012). 査読無. <http://id.nii.ac.jp/1001/00087073/>
- [6] Yasushi Shinjo, Fei Guo, Naoya Kaneko, Takejiro Matsuyama, Tatsuya Taniuchi, Akira Sato: "A

Distributed Web Browser as a Platform for Running Collaborative Applications", The 7th International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom 2011), pp.278-286 (2011). 招待論文. 査読無.  
[http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=6144813](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6144813)

- [7] 郭 飛, 青沼 伴樹, 新城 靖, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三: "分散型ブラウザにおける通信機能の設計", 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2011), ポスターセッション, 2 pages (2011). 査読無.  
<http://www.ipsj.or.jp/sig/os/index.php?plugin=attach&refer=ComSys2011%2Fposter&openfile=11-617-1.pdf>
- [8] 青沼 伴樹, 郭 飛, 新城 靖, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三: "分散型ブラウザにおける協調動画視聴アプリケーションの開発", 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2011), ポスターセッション, 2 pages (2011). 査読無.  
<http://www.ipsj.or.jp/sig/os/index.php?plugin=attach&refer=ComSys2011%2Fposter&openfile=11-614-1.pdf>

[その他]

ホームページ等

<http://www.softlab.cs.tsukuba.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

新城 靖 (SHINJO Yasushi)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号 : 00253948

### (2) 研究分担者

佐藤 聡 (SATO Akira)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号 : 90285429