

オープンソースソフトウェア開発コミュニティにおける 知識協創支援へ向けたプロトタイプシステムの開発

大規模サイバーワールドにおけるスケールフリーネットワークの問題点と対策

柿元 健[†] 大岡 徹也[†] 大平 雅雄[†] 大杉 直樹[†] 松本 健一[†]

[†] 奈良先端科学技術大学院大学 〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

E-mail: †{takesi-k,tetsuy-o,masao,naoki-o,matumoto}@is.naist.jp

あらまし 本研究は, サイバーワールド (オンライン大規模オープンソースソフトウェア (OSS) 開発コミュニティ) に所属するユーザの知識協創の支援を目的としている. 大規模 OSS 開発コミュニティにおける成功例として, Apache や Mozilla などが注目を集める一方で, 大多数の OSS プロジェクトでは十分な開発協力者を確保できないという事実についてあまり知られていない. 大規模 OSS 開発コミュニティでは, 知識共有を困難としているコミュニティの組織構造と, スケールフリーネットワークの性質を有する開発者間の社会的関係の2つの要因により開発者間の知識協創が阻害されている. 本稿では, 大規模 OSS 開発コミュニティにおける知識協創を支援する我々のアプローチについて述べ, 現在構築中の支援システム D-SNS (Dynamic Social Networking System) を紹介する.

キーワード 知識協創, 大規模 OSS 開発コミュニティ, スケールフリーネットワーク, ソーシャルネットワーク

D-SNS: A Dynamic Social Networking System that Supports Knowledge Collaboration in a Large-scale OSS Community

An Approach to Dealing with a Scale-free Network in a Large-scale Cyberworld

Takeshi KAKIMOTO[†], Tetsuya OHOKA[†], Masao OHIRA[†], Naoki OHSUGI[†], and Ken-ichi MATSUMOTO[†]

[†] Nara Institute of Science and Technology, 8916-5, Takayama, Ikoma, Nara 630-0192, Japan

E-mail: †{takesi-k,tetsuy-o,masao,naoki-o,matumoto}@is.naist.jp

Abstract The goal of our research is to construct a mechanism to encourage knowledge collaboration among open source software (OSS) developers in cyberworlds. As successful collaboration in cyberworlds, OSS development (e.g., Apache and Mozilla) has lately drawn considerable attention. The majority of OSS development project, however, is facing with a shortage of contributors. There are two issues which should be resolved to support knowledge collaboration in a large-scale OSS community the organizational structure and the social relationships representing free-scale networks. In this paper, we describe our approach to support a knowledge collaboration in a large-scale OSS community, and introduce the prototype system called D-SNS (Dynamic Social Networking System).

Key words Knowledge Collaboration, Large-scale OSS Development Communities, Scale-free Networks, Social Networks

1. はじめに

近年, ソフトウェア開発に必要な知識を必要に応じてソフトウェア開発者らが開発プロジェクトの枠組みを超えて相互に提供しあう (本研究におけるプロジェクト横断型知識協創)

ための仕組みが求められている. ソフトウェア開発技術の移り変わりの急激さが, 開発技術に関する最新かつ多様な知識を獲得する必要性を常に開発者に迫ると同時に, 個々の開発者が各種開発技術に精通することを現実的に不可能にしているためである.

Apache や Mozilla などの OSS 開発プロジェクトは、商用ソフトウェアに引けをとらない品質を備えたソフトウェアを開発し、サイバーワールド（オンライン OSS 開発コミュニティ）における OSS 開発の成功例として高い注目を集めている。一方で、SourceForge.net^(注1)のような大規模 OSS 開発コミュニティ内の大多数の OSS 開発プロジェクトは、十分な開発協力を確保することができず、停滞あるいは失敗しているという事実についてはあまり知られていない。

OSS 開発プロジェクトは、ソフトウェア開発に必要なリソース（人員や設備）を確保した後に開発を開始する一般的な商用ソフトウェア開発プロジェクトとは異なり、開発開始後の新規開発協力の自発的参加に大きく依存している。開発過程で生じる技術的問題の解決に必要な知識を有する開発協力を適宜得ることが出来なければ、既存開発者へ新たな知識の獲得を強いるため、結果的に開発プロジェクトの停滞や失敗につながる。実際、大規模 OSS 開発コミュニティのプロジェクトの大多数（例えば SourceForge.net では全体の 8 割以上のプロジェクト）は、3 人以下の開発者しか確保できない状況にあり、活発な OSS 開発を阻害する重大な要因となっている [1]。このため、プロジェクト横断型の知識協創支援の仕組みが、特に、知的資源の不足に陥りやすい大多数の小規模プロジェクトにとって必要とされている。

以降 2 章では、大規模 OSS 開発コミュニティの開発者間の知識協創を阻害する 2 つの要因、大規模 OSS コミュニティの組織構造、および、スケールフリーネットワークの性質を有する開発者間の社会的関係を、SourceForge.net から収集したデータを分析した結果に基づいて明らかにする。3 章では、大規模 OSS 開発コミュニティでの知識協創を支援するための我々のアプローチについて述べる。4 章では、我々が現在構築中の大規模 OSS 開発コミュニティに所属する開発者の知識協創の支援を目的としたプロトタイプシステム D-SNS (Dynamic Social Networking System) を紹介する。最後にまとめと今後の課題について述べる。

2. 大規模 OSS コミュニティにおける開発者間の知識協創を阻害する要因

本章では、多数のソフトウェア開発プロジェクトからなる大規模コミュニティにおける知識協創支援を阻害する要因について、特に、コミュニティの組織構造と開発者らの社会的関係のネットワーク構造の観点から議論する。

2.1 コミュニティの組織構造

SourceForge.net や Java.net^(注2)のような大規模オンラインコミュニティは、多数の OSS 開発プロジェクトから構成されている。各プロジェクトには 1 人ないし複数人の開発者が参加



図 1 大規模 OSS コミュニティの典型的組織構造

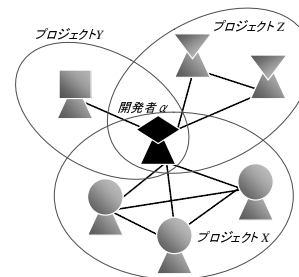


図 2 コミュニティ内の社会的関係のネットワーク構造

しており OSS 開発に従事している。また、各プロジェクトには所属する開発者の他に、障害報告やサポート要求などを行う（開発そのものに直接関与しない）アクティブユーザが存在する可能性がある。

大規模コミュニティ自体の役割は、各プロジェクトの OSS 開発を支援することであり、無料のホスティングサービスや多数の開発支援ツール（構成管理ツール、障害報告管理ツール、メーリングリスト、ディスカッションフォーラムなど）を提供している。各プロジェクトが利用する開発支援ツールは、ソフトウェアを開発する過程で生じた問題を解決するためになされた議論や、開発に必要な技術についての議論など、ソフトウェア開発に必要な様々な知識が豊富に保存されている「知識リポジトリ」と見なすことができる。

図 1 に大規模 OSS コミュニティの典型的な組織構造を示す。各プロジェクトは、コミュニティが提供する開発支援ツールを利用し、ソフトウェアを開発する過程で外在化された「知識」を蓄積し、プロジェクト内の開発メンバと共有することができる。また、蓄積された過去の知識を活用し、ソフトウェア開発に役立たせることができる。ただし、OSS コミュニティは各プロジェクトに蓄積されている知識をコミュニティ全体の「総体的知識」として共有し、活用するためのツールや仕組みを提供していない。そのため、たとえある開発者にとって有益な情報や知識が、コミュニティ内の他のプロジェクトの多くに存在していたとしても、それらを見つけ出し利用することは困難な状況にある。また、あるプロジェクトに所属する開発者らは、開発や問題解決に必要な知識を有する他のプロジェクトの開発者やアクティブユーザに対して、情報提供や協力を要請することが困難な状況となっている。

2.2 スケールフリーネットワークの性質を有する社会的関係 OSS コミュニティ内の開発者間の社会的関係を活用すること

(注1): <http://sourceforge.net/>

100 万人以上の開発者と 11 万件以上の OSS 開発プロジェクトが登録されている世界最大規模のオンライン OSS 開発コミュニティ (2005 年 12 月現在)。

(注2): <http://java.net/>

JAVA に関連するソフトウェアおよびソフトウェア技術を開発するためのオンラインコミュニティ

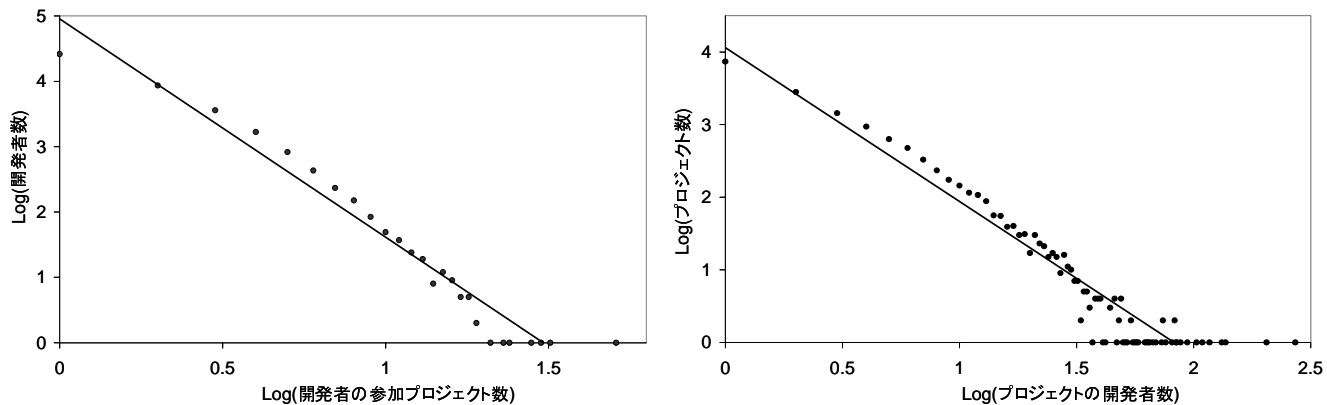


図3 SourceForge.net のスケールフリーネットワークにおけるべき乗則 (2005年2月時点)

が、上述した問題に対する1つの有力な解決方法となり得る。例えば、図1の開発者間の社会的関係をネットワーク構造として表した図2において、開発者 α は3つのプロジェクト(X, Y, Z)に参加している。同一のプロジェクトに参加した開発者同士は、社会的関係を有すると考えた場合、3つのプロジェクトの全ての開発者は、開発者 α を経由して2ステップ以内の距離で社会的につながっているとみなすことができる。全ての開発者と関係を有する(1つのクラスターを形成することができる)開発者 α は、プロジェクト(X, Y, Z)について「どのような知識がどのプロジェクトに存在しているか」や「誰が何について詳しく知っているか」について知っている可能性が高い。他の開発者は開発者 α に問い合わせることで、自身のソフトウェア開発に必要な知識を効率よく獲得することができると期待できる。

我々は、SourceForge.netに登録されているプロジェクトと開発者の関係の分析を行った^(注3)。図3の左側のグラフは、何人の開発者(Y軸)がいくつのプロジェクトに参加しているか(X軸)を示し、右側のグラフはいくつのプロジェクト(Y軸)が何人の開発者を抱えているか(X軸)を示すものである。両方の両対数グラフとも、プロジェクトと開発者の関係は、X軸、Y軸を結ぶ直線状となっており、べき乗則の関係となっている。図3のようなべき乗則の関係で表される、膨大なエッジを持ちネットワークを密に結びつけ、ネットワークを「small world」[2]としているハブのような存在の極少数のノードと、極少数のエッジしか持たない大多数のノードで構成される構造を持つネットワークは、スケールフリーネットワーク[3]と呼ばれる。WWWのリンク関係や学术论文の共著関係などがスケールフリーネットワークの代表例である。

分析結果は、複数のプロジェクトに参加している図2の開発者 α のような、SourceForge.net内の多数の人脈を有し、様々なプロジェクトを結び付けるSourceForge.netを総体的知識リポジトリとして機能させることが可能な開発者は非常に限られた少数のみであることを示唆している。有益な情報・知識源

を知る可能性の高い開発者、すなわち、ハブとなっている開発者(「ハブ開発者」と呼ぶ)に対して他の開発者からの大量の問い合わせが集中した場合、「ハブ開発者」が大きな負担を負う可能性が高い。OSSコミュニティに関する最近の研究から、OSS開発は開発メンバの均等な作業分担ではなく、特定の開発者および開発協力者の貢献に大きく依存していることがわかってきた。例えば、Apacheコミュニティのわずか4%の開発者が88%の新規コードを作成し、66%のコード修正をおこなっている[4]。また、Ximianプロジェクトの196人の開発者のうち5人の開発者で47%、20人の開発者で81%、55人の開発者で95%の修正要求に対応しているといった報告[5]がある。

前節では、少数の開発者しか確保できない小規模プロジェクトのための支援の必要性について述べた。しかし、小規模プロジェクトを支援するために、単にコミュニティ内の開発者間の社会的関係を活用するだけでは、「ハブ開発者」にとってはデメリットになることが予想される。したがって、大規模OSSコミュニティにおける知識協創を支援するためには、小規模プロジェクトの支援と同時に少数の「ハブ開発者」の保護についてもバランスを保ちつつ行う仕組みが必要であるといえることができる。

3. 大規模OSSコミュニティにおける知識協創支援システム構築のためのアプローチ

本章では、少数の開発者を有する大多数の小規模プロジェクトのためのプロジェクト横断型知識協創支援と「ハブ開発者」の保護を同時に行うための我々のアプローチについて述べる。

3.1 プロジェクト横断型知識協創支援のためのソーシャルネットワークの構築

2.2節の冒頭で述べたように、OSSコミュニティ内の開発者間の社会的関係を活用することは、多数の小規模プロジェクトを有するコミュニティにおけるプロジェクト横断型知識共有支援のためのひとつの方策である。以下では開発者間の社会的関係を利用し、コミュニティに蓄積される知識を総体として利用可能にするためのアプローチを示す。

社会的関係の定義: まず、ソーシャルネットワークの分析手法[6],[7]を用いて、大規模コミュニティ内の開発者間の社会的

(注3): SourceForge.netのデータは2005年2月時点で収集したものである。約9万のプロジェクトと1つ以上のプロジェクトに参加している約13万人の開発者のデータを分析対象とした。

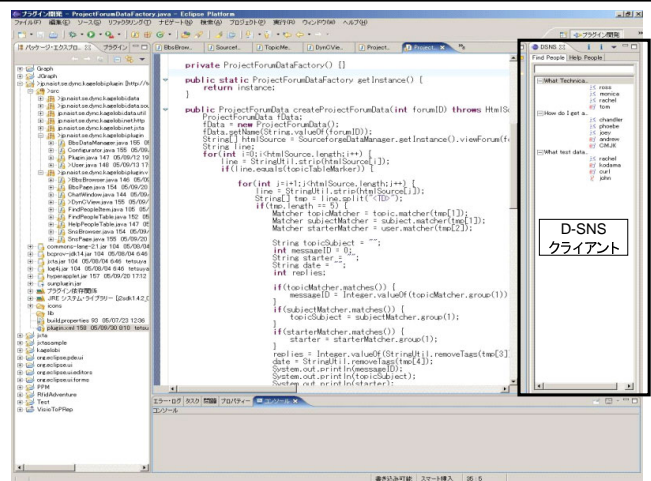


図 4 D-SNS クライアント

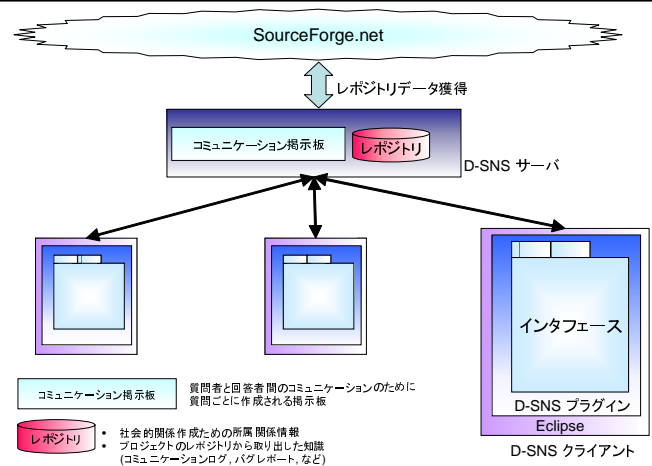


図 5 D-SNS のアーキテクチャ

関係を定義する。図 2 の社会的関係のように、「誰がどのプロジェクトの所属しているか」は所属関係ネットワークとして表現される [7]。例えば、所属関係ネットワークとして社会的関係を定義することによって、SourceForge.net 内の全開発者のうち 25%の開発者は 1 つのクラスターとして結び付けることが可能になる [8]。所属関係ネットワークの概念を利用して、大規模 OSS コミュニティを複数のクラスターから構成される「知識ネットワーク」と見なすことが可能になる。

複数クラスターと単独ノードの統合: さらに、複数のクラスターと単独ノード (1 人の開発者のみのプロジェクト) から構成される巨大な知識ネットワークを構築する。あるクラスター (C_A) に所属しているある開発者、または単独ノード (N) に所属する開発者が、別のクラスター (C_B) 内のリポジトリを利用したことがあれば、その利用関係から C_A, C_B, N が相互連結しているものとみなし 1 つのクラスターとして再定義する。これにより、いずれかのプロジェクトに所属する開発者のほとんどを 1 つの巨大なクラスター内に統合することができる。どのプロジェクトにも開発者として所属していないがプロジェクトのリポジトリに知識を入力するようなアクティブユーザ (バグ報告者など) も同様にしてクラスター内に取り込むことが可能になる。

3.2 ハブ開発者の保護

知識ネットワーク (クラスター) の構築は、大規模コミュニティ内の極少数の「ハブ開発者」の存在に大きく依存する。少数の社会的関係しか持たない大多数の開発者 (「ノード開発者」と呼ぶ) にとって、多くの技術や開発者についての知識を豊富に有する「ハブ開発者」と社会的関係を持つことはメリットが非常に大きい。しかし、「ハブ開発者」は、ノード開発者からの大量の問い合わせにより大きな負担を負うことになってしまう。もしコミュニティ内の「ハブ」を保護する何らかの手段がなければ、「ハブ」はコミュニティから離れてしまう可能性がある [9]。

Ye ら [10] は、上記の問題を解決するためにコミュニケーションメカニズムを提案している。コミュニティ内の全てのメンバはメッセージ (要求) をコミュニティに送信できるが、送信者

のタスクに適切な複数のメンバがメッセージの受信者として自動的に選択されるため、送信者は誰が受信することになるかは分からないというものである。メッセージの受信者は、メッセージに返信しなくとも送信者には分からないため、メッセージの返信に対して精神的圧力を感じる事が少なくなる。

我々は、このメカニズムに加えて、ノード開発者が、ハブ開発者にも頼ることなく、自身の社会的関係を築いていくメカニズムを提案する。少ない社会的関係しか持たないノード開発者が他者からの十分な助けを得るため、他者との社会的関係が増加させるための何らかの手段を提供する必要があるためである。

4. D-SNS : Dynamic Social Networking System

本章では、大規模 OSS 開発コミュニティにおける知識協創支援を目的として現在構築中のプロトタイプシステム D-SNS について述べる。以下、まず、D-SNS の概要と開発者間の社会的関係の形成を支援するためのメカニズムについて説明し、D-SNS の利用例を示す。

4.1 D-SNS の概要

図 4 に Eclipse プラグインとして実装している D-SNS クライアントのユーザインタフェースを、図 5 に D-SNS のアーキテクチャを示す。

D-SNS は SourceForge.net から各開発者の所属情報を収集し、その情報を開発者間の社会的関係の形成・管理のために利用する。また、D-SNS は SourceForge.net 内に存在するコミュニケーションログ、開発者登録情報、バグ報告などの情報から、開発者の有する知識に関する情報 (「どの開発者が何を知っているか」など) を獲得する。

これらの情報 (社会的関係および開発者の有する知識に関する情報) を利用して、D-SNS は社会的関係の構築と知識に精通している開発者を特定する。ここで、「知識に精通している」ということは、その開発者が誰よりも豊富な知識を有しているという絶対的な知識量を指すのではなく、ある事柄ごとの開発者間の相対的な知識の量によって定義されるものである [10]。例

表 1 開発者推薦のための基本ルール

状態	ユーザの役割	ネットワークへの作用	推薦順序	主な効果
R1	回答者	open→closed	S2→S1→U	スキルと知識を他者のために活用する
R2	回答者	closed→open	U→S1→S2	新たな人脈を形成する
Q1	質問者	open→closed	S2→S1→U	より質の高い知識を獲得する
Q2	質問者	closed→open	U→S1→S2	たくさんの知識を獲得する

open: 開放的ネットワーク, closed: 閉鎖的ネットワーク
 open→closed: 開放的ネットワークから閉鎖的ネットワークへの変遷
 closed→open: 閉鎖的ネットワークから開放的ネットワークへの変遷
 S1: 自分と 1 ステップの距離を持つ開発者, または, 以前直接コミュニケーションをおこなった開発者
 S2: 自分と 1 ステップの距離を持つ開発者 (S1 と 1 ステップの距離を持つ開発者)
 U: 開発者ではなくアクティブユーザ, または, 自身と 3 ステップ以上の距離を持つ開発者

例えば, 開発者 (D_A) は何らかの事柄に対して開発者 (D_B) よりも博識であるが, D_B は別の事柄に関しては D_A よりも博識でありえる。

D-SNS を利用することにより, D-SNS ユーザの開発者は, 質問を D-SNS に入力することで, 関連する知識を有する他のユーザから回答を得ることができ, D-SNS が提供する回答者との専用掲示板を使い, より深い議論を行うことも可能となる。D-SNS を通して質問-回答を行ったユーザ同士は, 社会的関係が構築されたとみなされる。どのプロジェクトにも所属していない(ネットワーク上で孤立しているノードとなっている)ユーザであっても, D-SNS を利用することによって新たな社会的関係を築くことができる。また, 社会的関係を形成していくことで, さらに多くのユーザからの回答を D-SNS で得られるようになる。

4.2 社会的関係の形成

D-SNS は, ユーザの社会的関係の状態と役割に基づいて, ユーザが誰と社会的関係を構築すべきかを決定し社会的関係の形成を支援する。ユーザの質問は, キーワードマッチ, ユーザの社会的関係の密度, 回答者とのコミュニケーションの頻度の計算結果に基づいて回答候補者を順位付けし, 送信される。

キーワードマッチ: D-SNS は, SourceForge.net から収集した技術用語・重要語とユーザの入力キーワード(質問)との間のマッチング結果を評価する。D-SNS はユーザに最も高いマッチング結果を示した開発者の順で提示する。

ユーザの社会的関係の密度: D-SNS はユーザのネットワークの密度に基づきユーザの社会的関係の状態を評価する。一般に, 閉鎖的ネットワークは, 小規模, 同質, 内向的な性質を持つ密度の高いネットワークであるとされている[11]。反対に, 開放的ネットワークは, 大規模, 異質, 外交的な性質を持つ密度の低いネットワークである。D-SNS は, ユーザの社会的関係の密度と役割にと基づいて表 1 のルールから 1 つを選択し, ルールに記述された推薦順序で S_1, S_2, U をユーザに推薦する。ユーザのネットワークの状態に適切な開発者を推薦するために, 高い密度の閉鎖的ネットワークは密度を低く, 低い密度の開放的ネットワークは密度を高くすることでネットワークのスケールフリー性を軽減することを目的としている。

コミュニケーションの頻度: D-SNS は, S_1 のユーザ全員とのコミュニケーションの頻度が均等であるほど, ネットワークは開放的であると定義し, ユーザ間のコミュニケーションの頻度を評価する。 S_1 の推薦順序を, 閉鎖的なネットワークでは

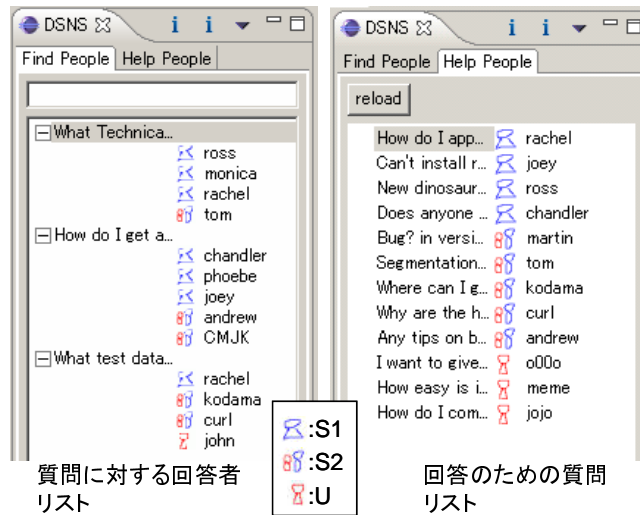


図 6 D-SNS の回答者推薦リスト

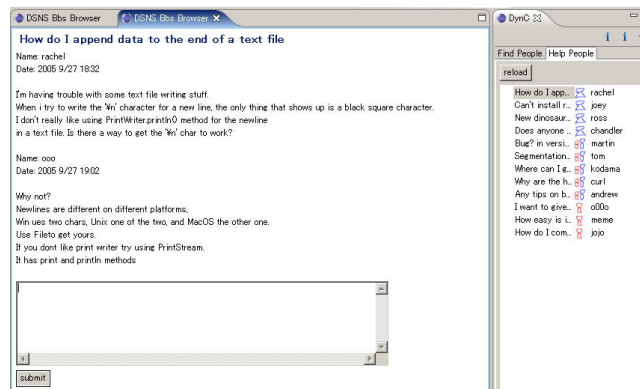


図 7 D-SNS の掲示板

コミュニケーションの頻度が均等になるように, 開放的なネットワークではコミュニケーションの頻度が高いユーザとの頻度が大きくなるように決定する。

4.3 D-SNS の利用例

ユーザが質問者の場合は, 図 6 左の “Find People” タブに質問を入力することで質問をおこなう。誰かがその質問に回答すると, 図 6 左のリストのように回答者のリストが表示される。質問者は, 回答者を選択し, 図 7 の掲示板を使って回答者とコミュニケーションをおこなう。質問者が回答者の回答に満足した場合は, その回答を含んだコミュニケーションログが回答者のリポジトリへ新たな知識及びコミュニケーション履歴として保存される。

ユーザが回答者の場合は, 図 6 右の "Help People" タブから自分の知識を必要としている質問者を探することができる。質問者に対して回答する場合は, 掲示板を使って質問者の質問に回答することができる。質問に回答しなかったとしても, 質問者はそのことを知ることはできない。

5. 考 察

D-SNS と同様にコミュニティ形成を支援するシステムとして, ピアサポートや協調作業, コミュニティ形成を支援するためのチャットベースのシステムである ReachOut [12] がある。ReachOut のユーザが特定の人物に質問する手段や回答を受け取る保障をしないというコミュニケーション方式は [10] や D-SNS と類似している。

ReachOut は知識リポジトリを必要としないが, システムを利用する前に知識をカテゴリ化したチェックリストからプロフィールを作成することをユーザに要求する。このアプローチはユーザが自身のプロフィールを頻繁に更新することを要求する可能性があるため, ソフトウェア開発者のように必要とする知識が日常的に変化するユーザには不向きであると思われる。D-SNS を利用する利点の 1 つは, ユーザ自身がプロフィールを更新するのではなく, ユーザの日常業務を通じてリポジトリに蓄積される知識を用いてシステムが自動的にユーザのプロフィールを作成する点にある。D-SNS の利点を生かすためにも, どの知識にどの開発者が精通しているのかを特定するためのメカニズムを, さらに改善していく必要がある。また, SourceForge.net に蓄積される知識を使うだけでなく, 知識に精通する開発者を特定するために利用可能な他のリソースや手法などの検討も必要である。

コミュニティ全体にリクエストが送信可能な既存のシステム (ML など) と D-SNS と本質的な効果の違いを検証するためにも, ユーザの社会的関係を形成・管理するためのメカニズムについても評価が必要である。一般に, OSS コミュニティに所属するメンバーは文化的に, 相互扶助の精神を有しているとされている。したがって, OSS 開発者らにとって, 誰か (ハブ開発者) を「保護する」よりも誰とでも「つながる」ことの方が好ましい可能性がある。そのため, OSS コミュニティに所属するメンバーが望んでいることを明らかとし, メンバーが望んでいる形にユーザの社会的関係を形成するように, D-SNS のメカニズムを調整する必要がある。

6. まとめと今後の課題

本稿では, 大規模オープンソースソフトウェア (OSS) 開発コミュニティに所属する開発者の知識協創支援を目的としたシステムである D-SNS について, OSS 開発コミュニティの問題点を列挙したうえで, それらの問題点に対する D-SNS のアプローチについて述べた。D-SNS では, 少数の開発者しか確保できない小規模プロジェクトのための支援と, 少数の「ハブ開発者」の保護を行うことで, OSS 開発コミュニティに所属する開発者の知識協創を支援する。

今後は, 5 章で述べたシステム評価に加えて, 現在 Eclipse

プラグインとして実装している D-SNS を, より多くの開発者が利用できるように, ブラウザで利用できるように拡張することを予定している。さらに, そのブラウザ上でユーザが自身の社会的関係を客観的に理解できるようにするために社会的関係の可視化機能 [1] を実装する予定である。現在の自身の社会的関係を理解することで, 他者と「つながる」ことが望ましいか否かの判断を助けることができると考えられる。

謝辞 本研究の一部は, 文部科学省「eSociety 基盤ソフトウェアの総合開発」の委託に基づいて行われた。また, 本研究の一部は, 文部科学省独創的革新技術開発研究 (課題番号 15103), 文部科学省科学研究補助費 (基盤研究 B, 課題番号 17300007; 若手 B, 課題番号 17700111) による助成を受けた。

文 献

- [1] M. Ohira, N. Ohsugi, T. Ohoka and K. Matsumoto: "Accelerating cross-project knowledge collaboration using collaborative filtering and social networks", Proceedings of 2nd International Workshop on Mining Software Repositories (MSR2005), St. Louis, MO, pp. 111-115 (2005).
- [2] D. J. Watts: "Six Degrees: The Science of a Connected Age", W W Norton & Co Inc (2003).
- [3] A. Barabasi: "Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means", Penguin (2003).
- [4] A. Mockus, R. Fielding and J. D. Herbsleb: "Two case studies of open source software development: Apache and mozilla", ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM), 11, 3, pp. 309-346 (2002).
- [5] D. German and A. Mockus: "Automating the measurement of open source projects", Proceedings of the 3rd Workshop on Open Source Software Engineering, Portland, Oregon, pp. 63-67 (2003).
- [6] J. Scott: "Social Network Analysis: A Handbook", SAGE Publications (2000).
- [7] S. Wasserman and K. Faust: "Social Network Analysis: Methods and Applications", Cambridge University Press (1994).
- [8] G. Madey, V. Freeh and R. Tynan: "The open source software development phenomenon: An analysis based on social network theory", Americas Conference on Information Systems (AMCIS2002), Dallas, TX, pp. 1806-1813 (2002).
- [9] G. Beenen, K. Ling, X. Wang, K. Chang, D. Frankowski, P. Resnick and R. E. Kraut: "Using social psychology to motivate contributions to online communities", Proceedings of the conference on Computer supported cooperative work (CSCW'04), Chicago, Illinois, USA, ACM Press, pp. 212-221 (2004).
- [10] Y. Ye, Y. Yamamoto and K. Kishida: "Dynamic community: A new conceptual framework for supporting knowledge collaboration in software development", Proceedings of 11th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC'04), IEEE, pp. 472-481 (2004).
- [11] W. E. Baker: "Achieving Success Through Social Capital", John Wiley & Sons Inc. (2000).
- [12] A. Ribak, M. Jacovi and V. Soroka: "'ask before you search': peer support and community building with reachout", Proceedings of the Conference on Computer-Supported Cooperative Work (CSCW'02), New York, NY, USA, ACM Press, pp. 126-135 (2002).