

クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発のプロジェクトマネジメント

Project Management for Crowdsourcing Software Development

末永 俊一郎^{*1}
Shunichiro Suenaga

馬場 雪乃^{*2}
Yukino Baba

土肥 拓生^{*3}
Takuo Doi

吉岡 信和^{*1}
Nobukazu Yoshioka

^{*1}国立情報学研究所
National Institute of Informatics

^{*2}京都大学
Kyoto University

^{*3}株式会社レベルファイブ
Level Five Co.,Ltd.

For software development, crowdsourcing has been considered as a promising approach for time and cost savings. Several case studies of using crowdsourcing for software development were conducted and they pointed out that there were considerable difficulties in using crowdsourcing for software development, which is composed of highly dependent tasks and requires a high level of skills of workers. Since most previous work focused on simple and small crowdsourcing tasks, some of such difficulties may not be handled by existing techniques. In this paper, we survey the literature in crowdsourcing and organize the existing work based on technology requirements in project management. We then discuss the results in terms of software development and extract several research questions.

1. はじめに

作業者をインターネット上でオンデマンドに雇用し仕事を依頼する仕組み「クラウドソーシング」をソフトウェア開発に利用しようという試みが開始されている [Peng 14, Fuggetta 14, Tsai 14]. クラウドソーシングは開発の短期間化・低コスト化に役立つと期待されており, ソフトウェア開発の一部をクラウドソーシングで実施する取り組みが行われており [Stol 14b, Prikkladnicki 14, Lakhani 10], ソフトウェア開発専門のクラウドソーシングサービスとして TopCoder^{*1} や uTest^{*2} も登場している.

一時的及び非対面での雇用関係を作業者と結ぶクラウドソーシングには, 従来の作業発注とは異なる様々な課題がある. たとえば, 適切な大きさにタスクを分割する手法や, 作業者の能力を事前に把握できない環境下で成果物の品質を保証する手法が必要となる. これらの手法は広く研究されているが [Kittur 13], ほとんどの研究では, 要求スキルレベルが低くタスク間の依存関係が希薄な規模の小さい仕事 (マイクロタスク) を対象としている. 一方で, ソフトウェア開発のような, タスク間に強い依存関係があり作業者に高いスキルレベルを要求する仕事でのクラウドソーシング利用には, マイクロタスクとは異なる課題がある [Kulkarni 12, Kittur 13]. そのため, クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発に, 既存手法をそのまま適用することが難しいことが報告されている [LaToza 13, Stol 14a].

それでは一体, 何を達成すればソフトウェア開発にクラウドソーシングを利用できるようになるのだろうか. どのような課題があり, どのような技術が求められるのだろうか. 本論文ではこの問いに答え, クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発の実現性を向上するため, ソフトウェア開発にクラウドソーシングを利用する際のリサーチクエスチョンを抽出する. 我々は既存研究を網羅的に調査し, 現状のクラウドソーシング研究で扱われている課題を体系的に整理した. 調査は, クラウドソーシングで作業を依頼する発注者, 作業を実施する作業者の双方の観点で実施した.

クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発のリサーチクエスチョンを提示・示唆した既存研究では, 独自の観点を

提示しリサーチクエスチョンの抽出を行っている [LaToza 13, Stol 14a]. 体系的な観点ではないことから, 網羅性と具体性に欠ける課題がある. そこで本研究では, クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発を実行する際に, 発注者には開発プロジェクトのマネジメントが求められることから, プロジェクトマネジメントの事実標準である PMBOK (Project Management Body Of Knowledge) [Project Management Institute 13] の知識エリアごとに定義された要求技術に基づき体系的に整理した. 作業者側については調査結果を帰納的に整理した. これらの課題の整理結果をもとに, ソフトウェア開発にクラウドソーシングを利用する際のリサーチクエスチョンを抽出した.

2. クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発のリサーチクエスチョン (発注者観点)

発注者観点の既存研究の状況と, クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発に求められる要求技術を図 1 に示す. PMBOK の知識エリアごとに, 発注者観点でのリサーチクエスチョンを抽出する.

2.1 プロジェクトマネジメント

図 1 の緑枠部に示すとおり, 各知識エリアを計画する要求技術 (スコープ・タイムマネジメント計画, コストマネジメント計画, 品質マネジメント計画等) の研究例は少ない. 各知識エリアの計画は, プロジェクトマネジメントの一般的な課題であり, クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発の実施とともに, 報告されていくと考えられる. ソフトウェア開発の実行に際して, プロジェクトマネジメントの視点から, 次のリサーチクエスチョンが抽出される.

RQ1:クラウドソーシング特有の計画作成手法

ソフトウェア開発を行う際には開発計画の作成が求められる. この時, クラウドソーシングの特有の性質を考慮した計画作成方法が求められるのか. 従来の計画作成方法とどれほど異なるのか.

2.2 スコープ・タイムマネジメント

クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発では, 依存関係のあるタスクを細分化して実行するため, タスク分割と

*1 <http://www.topcoder.com>

*2 <http://www.utest.com>

知識エリア	要求技術				
スコープ・タイムマネジメント	スコープ・タイムマネジメント計画	スコープ定義	タスク分割	スケジュール作成	スコープ・スケジュールコントロール
コストマネジメント	コストマネジメント計画	コスト見積もり	コストコントロール		
品質マネジメント	品質マネジメント計画	品質保証	品質コントロール		
人的資源マネジメント	人的資源マネジメント計画	チーム編成	チーム育成	チームマネジメント	
コミュニケーションマネジメント	コミュニケーションマネジメント計画	コミュニケーションマネジメント	コミュニケーションコントロール		
リスクマネジメント	リスクマネジメント計画	リスク特定	リスク分析	リスク対策	リスクコントロール

図 1: PMBOK の要求技術と、発注者観点の既存研究の対応。下線はクラウドソーシングに関する既存研究が存在する領域、緑枠はクラウドソーシングを利用したソフトウェア開発時のプロジェクトマネジメントの課題、赤枠はクラウドソーシングを利用したソフトウェア開発のために特に研究が必要と思われる要求技術をそれぞれ示す。

その影響を受けるスケジュール作成及びスコープ・スケジュールコントロールの研究が重要になる。タスク分割とスケジュール作成に関する研究は実施されているが、既存研究では、タスクが分割不可能である場合が想定されていない [Kulkarni 12]、具体的なスケジューリング手法の提案はない [Stol 14b] 等の課題が残されている。これらの要求技術では、次のリサーチクエストが挙げられる。

RQ2-1: 依存関係を考慮したタスク分割手法

ソフトウェア開発は強い依存関係があるタスクから構成されるため、クラウドソーシングで実施しやすいように依存関係を考慮してタスクを分割する手法が必要となる。また、上流工程をクラウドソーシングを利用して実施する手法も必要となる。

RQ2-2: 開発スケジュールの作成手法

分割されたタスクの難易度やリスクを考慮し、それに準じたバッファや並列度を織り込んだ開発スケジュールを作成する手法が必要となる。例えば、単純なタスクでリスクが高い場合には並列度を増し、難しいタスクでリスクが高い場合にはバッファを確保することが考えられる。

RQ2-3: 仕様変更及びリスクスケジュール手法

細分化されたタスクを実行していく中で、要求仕様に変更が生じた場合には、細分化された他タスクへの影響を管理し、変更をトレース、実施する手法が必要となる。また、残りタスクの可変性（タスクの並列度の向上余地等）やリスクを考慮し、期限を守るようにリスクスケジュールを判断・実施する手法も必要となる。

2.3 コストマネジメント

ソフトウェア開発におけるコスト見積り難しさは広く知られている [Shepperd 07]。クラウドソーシングにおけるコスト見積り結果は、作業員へ提示する報酬となり、応募に影響を及ぼすためコスト見積りの研究は重要となる。一方で、コストコントロールは、状況を監視し、コストに関する変更を行う技術のため、既存手法や一般的な手法を適用できると考える。コスト見積りの既存研究は存在するが [Singla 13]、作業員からフィードバックをもらえる前提を置いているため、より現実的な前提とする課題が残されている。コスト見積りにおいて、次のリサーチクエストが挙げられる。

RQ3: クラウドソーシングのコスト見積り手法

細かく分割され、個々の内容が異なるタスクのコストを、難易度やタスク量等から見積もる手法が必要となる。クラウドソーシングでは、不特定多数の作業員が参加するため、企業のソフトウェア開発のように経験的・属人的な見積り手法は採用できない。

2.4 品質マネジメント

クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発では、スキルにばらつきのある作業員に仕事を依頼するため、品質は特に課題となる。品質コントロールは、品質活動の監視と記録を目的とした要求技術であり一般性があるため、クラウドソーシングでは品質保証が特に重要となる。品質保証に関する研究は多数存在するが [Dai 10, Lin 12, Baba 13]、これらは一種類のタスクを対象としている。ソフトウェア開発のような大規模な仕事では、複数種類のタスクへ対応する品質保証技術が求められる。次のリサーチクエストが挙げられる。

RQ4-1: 品質保証実行後の品質推定手法

任意の品質保証手法を任意の順番で実行した場合の品質を見積もる手法が必要となる。予め品質を推定することで、定められた品質目標を達成できる可能性を向上できる。

RQ4-2: 品質保証プロセスの制御手法

各タスクの品質達成状況に応じて品質保証プロセスを制御する手法が求められる。コスト・スケジュールの制約下で、品質測定結果を利用して並列度を制御する等の工夫が必要となる。

2.5 人的資源マネジメント

チームによるソフトウェア開発は一般的に行われている。クラウドソーシングにおいてソフトウェア開発をチームで実施するためには、スキルセットが明確でない作業員によりチームを編成し、チームをマネジメントしつつ開発する必要がある。そのため、チーム編成、チームマネジメントが特に重要となる。チーム育成については、クラウドソーシングにおける一時的な雇用関係を考慮すると、優先度が低い要求技術といえる。チーム編成に関する研究は存在するが [Heimerl 12, Jacques 13, Ipeirotis 14]、作業員のスキル特定手法は確立されていない。チーム編成、チームマネジメントでは、次のリサーチクエストが挙げられる。

RQ5-1: 作業員のスキルセットの特定手法

タスクの要求スキルセットに適合する作業員を特定する

観点	分類		
報酬, モチベーション	参加や中断のモチベーション調査	報酬によるモチベーションへの影響	報酬以外のモチベーションへの影響
リスク	リスク特定		

図 2: 作業員観点の既存研究の整理

手法が必要となる。作業員から提供される情報から所有スキルセットを、発注者から提供される情報から要求スキルセットを推定する手法等が考えられる。

RQ5-2: チームのパフォーマンスの評価手法

チーム編成の妥当性を評価するためには、チームのパフォーマンスを評価する手法が必要になる。チームの結束度等のチームワークを評価し、それに応じてチームワークを制御する手法等が考えられる。

2.6 コミュニケーションマネジメント

クラウドソーシングは、作業員・発注者が互いに自身の目的を達成するための場であるため、双方の目的達成をとりもつコミュニケーションマネジメントが特に重要になる。コミュニケーションマネジメントに関する研究は存在するが [Stol 14b], ケーススタディーに留まっており、課題は残されている。コミュニケーションマネジメントにおいて、次のリサーチクエストが挙げられる。

RQ6: 協調を促進するコミュニケーション手法

非対面・一時的な雇用関係の中で協調を促進するコミュニケーション手法が必要となる。クラウドソーシングプラットフォームでは発注者の方が保護されており強い力を持つという作業員からの意見が報告されている [Martin 14]。その一方で、発注者は、作業員に選定される側面を併せもつ。目的の達成度を考慮して、コミュニケーション内容・方法の変更を提案する手法等が考えられる。

2.7 リスクマネジメント

クラウドソーシングにおけるソフトウェア開発では、情報漏洩やタスクの故意的な改ざんなどのリスクは一般的に大きくなるため、リスクマネジメントは重要となる。なかでも、従来の仕事の形態と異なり、物理的な制約による管理を実施することが難しいため、リスク対策が特に重要となる。リスク対策に関する研究は存在するが [Lakhani 10, Teodoro 14, Lasecki 14], 作業員の選定や作業員数による対策を提案しており、物理制約に依存しないアプローチは課題として残されている。リスク対策において、次のリサーチクエストが挙げられる。

RQ7: 情報秘匿と品質維持の調整手法

個人情報や顧客の情報等、ソフトウェア開発に要する情報を秘匿しながらも品質を維持する手法が必要となる。情報漏洩の可能性を前提とし、漏洩時の影響と品質への影響を考慮した手法等が考えられる。

3. クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発のリサーチクエスト (作業員観点)

作業員観点の既存研究を図 2 のとおり整理した。

3.1 モチベーション・報酬

既存研究の対象はマイクロタスクが中心であり、ソフトウェア開発のようにスキル・時間を要する複雑なタスクを対象とした研究はまだ少ない。クラウドソーシングでは、作業員の所属する組織が存在しないため、個々の作業員が自身でモチベーションを管理、制御する必要がある。作業員がモチベーションを維持し、継続的にクラウドソーシングを労働の場として成長していくために、次のリサーチクエストが挙げられる。

RQ8: モチベーション維持を支援する手法

個々の作業員がクラウドソーシング市場の中で成長し、疲弊することなく労働を続けられるよう、モチベーションを維持するための支援が必要となる。

3.2 リスク

クラウドソーシングにおいて作業員は発注者に比べて立場が弱い面もあり [Martin 14], 作業員は多くのリスクを抱える。リスクへの有効な対策が無い場合、リスク特定の精度向上やリスクの早期特定による、リスク回避が必要になる。個々の作業員によるリスク特定は限界があるため、プラットフォーム側でのリスク特定支援が必要となる。

RQ9: 作業員のリスク特定を支援する手法

発注者に対する作業員のコメントや、タスクの難易度、契約の条件等から作業員視点でのリスク特定を支援する手法が必要となる。

4. ソフトウェア開発はどう変わるか

従来のソフトウェア開発は、開発体験を共有した社内のエンジニア、長期的な関係構築を前提とした社外のエンジニアにより実施されていた。こうした開発体験や関係性により、品質、期限、データ漏えい等は暗黙的に担保されてきた側面があるが、クラウドソーシングではこれらが担保されない可能性が高い。そのため、完成度が求められるプロトタイプや、優先度の低いタスクにクラウドソーシングを利用する「消極的な利用」は一つのあり方となる。

一方で、「積極的な利用」のためには、発注者は作業員を積極的に管理・制御する必要がある。すなわち、クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発は、開発計画の洗練、各知識エリアの実行・監視、開発の管理・制御等、発注者側に高度な負荷・スキルを求める。一般に、ソフトウェア開発では、負荷の抑制やスキルのばらつきを開発プロセスによって制御・担保することが多いため、クラウドソーシングを利用した開発プロセスの研究が特に期待される。

RQ10: クラウドソーシングにおける開発プロセス

RQ1~9を考慮した開発プロセスが必要になる。また、クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発と、ソフトウェアのドメインや開発規模等の関係も明らかにする必要がある。

5. むすび

クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発の実行に際して、ソフトウェア開発のマネジメントが課題となる。本研究では、クラウドソーシングの研究をプロジェクトマネジメントの要求技術を参考に体系的に整理し、クラウドソーシングを利用したソフトウェア開発の実現に向けたリサーチクエストを抽出した。

参考文献

- [Baba 13] Baba, Y. and Kashima, H.: Statistical quality estimation for general crowdsourcing tasks, in *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining (KDD)*, pp. 554–562 (2013)
- [Dai 10] Dai, P., Mausam, , and Weld, D. S.: Decision-theoretic control of crowd-sourced workflows, in *Proceedings of the 24th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*, pp. 1168–1174 (2010)
- [Fuggetta 14] Fuggetta, A. and Di Nitto, E.: Software process, in *Proceedings of the on Future of Software Engineering* (2014)
- [Heimerl 12] Heimerl, K., Gawalt, B., Chen, K., Parikh, T., and Hartmann, B.: Communitysourcing: engaging local crowds to perform expert work via physical kiosks, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, pp. 1539–1548 (2012)
- [Ipeirotis 14] Ipeirotis, P. G. and Gabrilovich, E.: Quiz: Targeted crowdsourcing with a billion (potential) users, in *Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web (WWW)*, pp. 143–154 (2014)
- [Jacques 13] Jacques, J. T. and Kristensson, P. O.: Crowdsourcing a HIT: Measuring workers’ pre-task interactions on microtask markets, in *Proceedings of the 1st AAAI Conference on Human Computation and Crowdsourcing (HCOMP)*, pp. 86–93 (2013)
- [Kittur 13] Kittur, A., Nickerson, J. V., Bernstein, M., Gerber, E., Shaw, A., Zimmerman, J., Lease, M., and Horton, J.: The future of crowd work, in *Proceedings of the 2013 Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, pp. 1301–1318 (2013)
- [Kulkarni 12] Kulkarni, A., Can, M., and Hartmann, B.: Collaboratively crowdsourcing workflows with turkomatic, in *Proceedings of the ACM 2012 Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, pp. 1003–1012 (2012)
- [Lakhani 10] Lakhani, K., Garvin, D. A., and Lonstein, E.: TopCoder (A): Developing software through crowdsourcing, *Harvard Business School General Management Unit Case*, No. 610-032, pp. 1–19 (2010)
- [Lasecki 14] Lasecki, W. S., Teevan, J., and Kamar, E.: Information extraction and manipulation threats in crowd-powered systems, in *Proceedings of the 17th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing (CSCW)*, pp. 248–256 (2014)
- [LaToza 13] LaToza, T. D., Ben Towne, W., Hoek, van der A., and Herbsleb, J. D.: Crowd development, in *Proceedings of the 6th International Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering (CHASE)*, pp. 85–88 (2013)
- [Lin 12] Lin, C., Mausam, M., and Weld, D.: Crowdsourcing control: moving beyond multiple choice, in *Proceedings of the 28th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI)*, pp. 491–500 (2012)
- [Martin 14] Martin, D., Hanrahan, B. V., O’Neill, J., and Gupta, N.: Being a turker, in *Proceedings of the 17th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing (CSCW)*, pp. 224–235 (2014)
- [Peng 14] Peng, X., Babar, M. A., and Ebert, C.: Collaborative software development platforms for crowdsourcing., *IEEE software*, Vol. 31, No. 2, pp. 30–36 (2014)
- [Prikladnicki 14] Prikladnicki, R., Machado, L., Carmel, E., and Souza, de C. R. B.: Brazil software crowdsourcing: A first step in a multi-year study, in *Proceedings of the 1st International Workshop on CrowdSourcing in Software Engineering (CSI-SE)*, pp. 1–4 (2014)
- [Project Management Institute 13] Project Management Institute, : *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide)*, 5 edition (2013)
- [Shepperd 07] Shepperd, M.: Software project economics: a roadmap, in *2007 Future of Software Engineering (FOSE)*, pp. 304–315 (2007)
- [Singla 13] Singla, A. and Krause, A.: Truthful incentives in crowdsourcing tasks using regret minimization mechanisms, in *Proceedings of the 22nd International Conference on World Wide Web (WWW)*, pp. 1167–1178 (2013)
- [Stol 14a] Stol, K.-J. and Fitzgerald, B.: Researching crowdsourcing software development: perspectives and concerns, in *Proceedings of the 1st International Workshop on CrowdSourcing in Software Engineering (CSI-SE)*, pp. 7–10 (2014)
- [Stol 14b] Stol, K.-J. and Fitzgerald, B.: Two’s company, three’s a crowd: a case study of crowdsourcing software development, in *Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering (ICSE)*, pp. 187–198 (2014)
- [Teodoro 14] Teodoro, R., Ozturk, P., Naaman, M., Mason, W., and Lindqvist, J.: The motivations and experiences of the on-demand mobile workforce, in *Proceedings of the 17th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing (CSCW)*, pp. 236–247 (2014)
- [Tsai 14] Tsai, W.-T., Wu, W., and Huhns, M. N.: Cloud-Based Software Crowdsourcing, *Internet Computing, IEEE*, Vol. 18, No. 3, pp. 78–83 (2014)