

**ソーシャルメディアを利用した
参加型モバイル環境監視の実現**
～放射線測定を事例としたアクションリサーチ～

石垣 陽

電気通信大学大学院情報システム学研究科
博士（工学）の学位申請論文

2014年3月

ソーシャルメディアを利用した
参加型モバイル環境監視の実現

～放射線測定を事例としたアクションリサーチ～

博士論文審査委員会

主査 田中 健次 教授

委員 大須賀 昭彦 教授

委員 栗原 聡 教授

委員 多田 好克 教授

委員 森田 啓義 教授

著作權所有者

石垣 陽

2 0 1 4

Participatory Environment Monitoring

Developed with Social Media:

Action Research for Radiation Monitoring in Japan

YO ISHIGAKI

Department of Social Intelligence and Informatics

The Graduation School of Information Systems

The University of Electro-Communications

Abstract

I developed inexpensive but accurate and flexible, mobile radiation detector using general-purpose sensor and smartphone, to address the desire of ordinary people to own a radiation detector following the March 2011 Daiichi Nuclear Power Plant accidents in Fukushima, Japan. The Cs-137 measurement range for the detector is approximately from 0.05 $\mu\text{Sv/h}$ to 10 mSv/h , which covers most radiation levels measured in Japan. Furthermore, the device also utilized the GPS and networking capabilities of the smartphone for data sharing and its geographic visualization. We opened whole development processes including fund-raising, circuit design and performance testing for users and engineers through internet community. Accordingly, many users and radiation professionals have joined our social-network community where they autonomously shared measurement results and discuss hardware and software improvements. This paper proposes interaction model named PSD (Participatory System Development) between engineers, professionals and users in such participatory development through social media, and also shows field testing results for the detectors in Fukushima area.

概要

原子力発電所や工業プラント事故など、人々の健康や自然環境に深刻なダメージを与える大事故が後をたたない。事故・災害による被害を最小限に留めるためには、住民が状況を適切に把握することが必要であり、そのためには、事故当事者・政府による現状のリスク情報の提供だけでなく、市民自らが、リスクを判断するための状況情報を、専門家との相互のコミュニケーションを通じて、早期に獲得することが望まれる。なぜなら、事故当事者・政府による一方的な情報提供だけでは、情報の客観性や監視情報のきめ細かさ、組織内での意志決定スピードなどの観点から、十分な情報が獲得できない可能性があるからである。そこで、①一般市民に対して環境計測を行うための安価・簡易な科学的手段を提供し、②ソーシャルメディアを通じて付近住民や専門家が共に計測結果を共有することによって、③測定器の性能や測定結果の正当性について客観的議論・検証を行ないながら、④生活圏において迅速かつ正確に環境監視を行なうことのできる、市民参加型のモバイル環境監視システムが必要とされる。

本研究は、福島第一原子力発電所事故後の放射線計測用に開発したモバイル放射線測定器の、製品開発から製品評価、さらに測定結果の共有利用に至るまでの社会プロセスをケーススタディとして分析し、まとめたものである。この測定器は、汎用センサやスマートフォンを利用して低コスト化を実現しつつ、測定範囲が $0.05\mu\text{Sv/h}\sim 10\text{mSv/h}$ と実用上十分な性能を有するモバイル線量計である。GPS の位置情報を利用し、線量データマップも構築できる。このモバイル線量計の開発にあたり、開発コストと期間を削減するため、資金調達・性能評価など一連の開発プロセスをオープン化し、世界中の技術者・専門家に加え一般ユーザも巻き込んだ参加型のシステム開発手法（PSD: Participatory System Development）を採用した。その結果、自立的なインターネットコミュニティが生まれ、改善提案、測定結果の共有やサポートを効率的に行うことができた。

本稿は、ソーシャルメディアを通じて海外の専門家や一般ユーザも参加したモバイル線量計の開発過程から、性能試験結果や福島県飯舘村で行われている実地試験の結果評価を経て、社会全体で測定結果を情報共有し利用するに至ったプロセスをケーススタディとして、関係者間のインタラクションとデータ信頼性の獲得プロセスをベースにモデル化・分析することで、PSD の有効性と背後要因を検証する、事例分析型の論文である。

目次

1.	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	参加型システム開発の必要性	4
1.3	ポケットガイガーによるアクションリサーチ	6
1.4	論文の構成	7
2.	汎用品による設計	9
2.1	2章の概要	9
2.2	ハードウェア設計	10
2.2.1	PIN フォトダイオードセンサの選定	10
2.2.2	計算部・操作表示部へのスマートフォンの利用	12
2.2.3	ケースとβ線遮蔽シールドでの DIY 組立方式の採用	13
2.2.4	回路設計	15
2.2.5	各モデルの詳細な説明と設計上の工夫	19
2.3	ソフトウェア設計	20
2.3.1	ソフトウェア外部設計	20
2.3.2	ソフトウェア内部設計	23
2.3.3	位置情報取得における配慮	26
2.4	2章のまとめ	27
3.	参加型の開発マネジメント	28
3.1	3章の概要	28
3.2	リソースの外部調達	28
3.2.1	資金	29
3.2.2	広告宣伝	33
3.2.3	人的資源	35
3.2.4	知的財産	35
3.2.5	生産設備	35
3.2.6	サポート	37
3.3	3章のまとめ	38
4.	参加型の評価改善	39

4.1	4章の概要	39
4.2	ポケガ単体での性能評価	39
4.3	市街地でのフィージビリティテスト	43
4.4	森林でのフィージビリティテスト	46
4.5	ユーザによる評価	48
4.5.1	線量の共有と精度の確認	48
4.5.2	改善の提案	53
4.5.3	サポートと議論	57
4.6	4章のまとめ	63
5.	モデル化と効果の要因	64
5.1	5章の概要	64
5.2	ポケガにおける参加型システム開発のモデル化	64
5.3	他の開発パラダイムとの比較	68
5.3.1	オープンソースハードウェア	69
5.3.2	参加型デザインとユーザ中心設計	70
5.3.3	クラウドソーシング	71
5.4	開発フェーズごとのダイナミクスの検証	72
5.4.1	初期開発フェーズ	73
5.4.2	評価フェーズ	74
5.4.3	議論フェーズ	74
5.4.4	改善フェーズ	75
5.4.5	展開フェーズ	75
5.5	プレイヤー間のインタラクションの検証	75
5.5.1	専門家(Experts)と技術者(Engineers)との間	76
5.5.2	専門家とユーザ(Users)との間	77
5.5.3	技術者とユーザとの間	80
5.5.4	ソーシャルメディア	83
5.6	データの信頼性獲得に関する検証	88
5.6.1	公的レイヤ(Official layer)におけるデータ公開	89
5.6.2	市民レイヤ(Citizen layer)におけるデータ公開と公的レイヤとの関係	89
5.7	5章のまとめ	90
6.	今後の展開	92

6.1	6 章の概要	92
6.2	問題と今後の展開	92
6.2.1	消費電力	92
6.2.2	農地や森林での広域監視	92
6.3	放射線監視以外での PSD の成立要件	94
7.	まとめ	98

目次

図 1-1	国民生活センターが調査した当時の線量計 9 機種	2
図 1-2	PIO-NET に寄せられた線量計に関する相談件数の推移(2011 年)	2
図 1-3	市民社会のネットワーク化による参加型のシステム開発	5
図 1-4	Type1 の外観図	6
図 1-5	論文の構成	8
図 2-1	各放射線検出方式の機能ブロック図	13
図 2-2	ポケガ Type1 の組立マニュアル (一部抜粋)	14
図 2-3	Type1~5 の外観形状一覧	15
図 2-4	ポケガ Type1 の回路図	17
図 2-5	ポケガ Type1~5 のブロック図	18
図 2-6	振動ノイズの検出方法	20
図 2-7	ソフトウェアの動作画面	22
図 2-8	アプリケーションの通信動作概要	24
図 2-9	プロセスの動作概要	25
図 3-1	Kickstarter 上のプロジェクト画面	31
図 3-2	投資者の住んでいる国	32
図 3-3	投資額の推移(2011 年当時)	33
図 3-4	ポケガを特集したネットニュース	34
図 3-5	ポケットガイガーの製造工程 (宮城県石巻市)	37
図 4-1	ポケットガイガー Type1 の Cs-137 応答特性	40
図 4-2	応答特性の実験風景 (デルフト工科大学)	41
図 4-3	オランダ国立計量局より発行された公的証明書 (抜粋)	42
図 4-4	ポケガによる車載型モバイル放射線モニタリングシステム	44
図 4-5	車内からみた測定の様子 (福島県飯舘村付近)	44
図 4-6	東京電力福島第一原子力発電所周辺の放射線量測定結果	45
図 4-7	ガーデンエリア (左)、森林エリア (中)、伐採林エリア (右) に設置された FMS	47
図 4-8	ガーデンエリア、森林エリア、伐採林エリアにおける放射線量の推移	47
図 4-9	Facebook に投稿されたトピックの分類	48
図 4-10	ユーザによる測定レポートの例	50
図 4-11	ユーザによる他の線量計との比較レポートの例	51
図 4-12	ユーザによる公的モニタリングポストとの比較レポートの例	52
図 4-13	ユーザによって投稿された高感度ポケガの制作事例	55
図 4-14	ユーザによって投稿された ZigBee ワイヤレスポケガの制作事例	56
図 4-15	ユーザ同士のサポート事例(1)	59

図 4-16 ユーザ同士のサポート事例(2)	60
図 4-17 ユーザ同士のサポート事例(3)	61
図 4-18 ユーザによってつくられたユーザマニュアル	62
図 5-1 役割固定型と参加型によるシステム開発パラダイムの違い	65
図 5-2 オープンソースの開発モデル (FreeBSD の例)	70
図 5-3 開発フェーズごとのプレイヤー間の関わり	72
図 5-4 開発フェーズごとのインタラクションの関係性	73
図 5-5 ユーザからの多くの質問を受けて作成された福島原発事故前の線量マップ	80
図 5-6 ポケガの組立・放射線測定ワークショップの様子 (子供・学生向け)	82
図 5-7 PSD モデルにおけるソーシャルインタラクション	83
図 5-8 ポケガに関連した Facebook グループの系譜	84
図 5-9 公的機関や個人が持つリスク情報の公開過程	88
図 6-1 ポケガをベースとした野生のイノシシ用モバイル線量計	93
図 6-2 ポケガをベースとしたソーラー充電式モニタリングポスト	94

表目次

表 1-1	役割固定型のリスクコミュニケーション・サービスの提供形態	5
表 2-1	ポケガのハード開発における既製品・汎用品の採用	9
表 2-2	代表的な放射線センサとその特徴	11
表 2-3	ポケガ各モデルの仕様比較	16
表 2-4	各 iOS®デバイスにおける放射線パルスに対する閾値	17
表 2-5	CSV フォーマットで出力されるログの内容	23
表 2-6	測定モード設定とアプリケーション機能制限の関係	26
表 3-1	リソースの外部調達	29
表 3-2	「見返り」の詳細と投資者数(2011 年 7 月 31 日)	32
表 4-1	ポケガの改善にあたり提供された要望とリソース	54
表 5-1	役割固定型モデルと PSD モデルの比較	67
表 5-2	役割固定型モデルと PSD モデルにおけるプレイヤーの定義	68
表 5-3	ポケガに関連する Facebook グループの一覧	87
表 6-1	PSD の成立要件	95

1. はじめに

1.1 背景

チソ水俣病事件をはじめとする四大公害病、チェルノブイリ原子力発電所爆発事故、東京電力福島第一原子力発電所メルトダウン事故（以下、福島原発事故）など、広範囲な環境汚染を伴う事故・災害が後をたたない。このような事故・災害においては、地域住民が実際より環境リスクを低く見積もる「過信」や、必要以上に高く見積もる「不信」を軽減し、市民一人一人が状況を適切に把握することが必要不可欠となる。そのためには、避難の必要性を市民自ら判断するための状況情報を、専門家との相互のコミュニケーションを保ちながら、早期に提供する仕組みも必要とされる[1]。

特に福島原発事故後においては、局所的な環境要因（例：植生や水はけなど）によって放射線量が同じ地域でも大きく異なっていたことから、多地点の線量情報を「測定」し、それらの情報を地域住民同士で正しく「共有」することが全国的に求められた。同時に、正しい測定方法や放射線の定量的なリスクに関して、専門家による科学的見解を一般市民へ伝え、あるいは逆に専門化が市民の疑問に答えることで、過信・不信を低減する「議論」の場を提供する事も望まれた。以下では、これら「測定」「共有」「議論」のためのシステム・サービスの提供という観点から福島原発事故後の産業界・行政・政府・市民活動などの対応を振り返る。

線量計メーカーは事故以前より GM 管やシンチレーション式の製品を提供していたため、市民が放射線量を「測定」するための手段を提供できるプレイヤーの1つだった。しかし国内線量計メーカーの製品は 10 万円～50 万円程度と一般ユーザにとっては高価であり、また急激な需要増加により事故後数ヶ月は入手困難となっていた。このため市場には、輸入品を中心として性能が安定しない測定器が出回った。国民生活センターが当時の比較的安価な 9 機種（図 1-1、いずれも輸入品）を調査した結果、いずれも通常的环境程度（バックグラウンド）以下の放射線量を正確に測定できなかったことがわかった[2]。さらに同センターの運営する全国消費生活情報ネットワークシステム(PIO-NET)に寄せられた相談のうち、放射線測定器に関連する相談が 2011 年 3 月 11 日から 2011 年 11 月末までに 680 件、うち 9 月以降に 177 件寄せられており（図 1-2）[3]、他にも誤った製品表示・利用方法により正確な測定ができない可能性が指摘される[4]など、市場には混乱が起きていた。

こうした状況において、民間企業が安価かつ校正された線量計（エステー社のエアカウンター）を市場投入したのは事故から9ヶ月後であった上、測定によって得られた値を共有・比較する場が準備されているわけではなく、単に線量を測定する装置を販売するだけのものだった[5]。一般に、メーカーはマーケットニーズに合った工業製品を企画・製造・販売するために最適化された組織構成となっており、その製品開発サイクルが、事故・災害のような喫緊のニーズに対処できるほど短いことは稀であろう。またこうした専門メーカーが、インターネットによる線量共有といった公共的なサービスを、ビジネスとして継続的に運用できる体制になっているとも言い難い。



図 1-1 国民生活センターが調査した当時の線量計 9 機種[2]

Figure 1-1 Nine dosimeter samples imported from overseas countries[2].

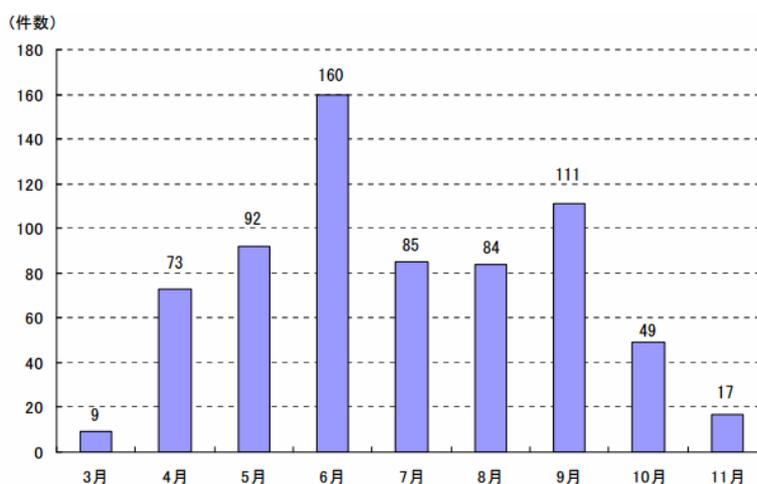


図 1-2 PIO-NET に寄せられた線量計に関する相談件数の推移(2011 年) [3]

Figure 1-2 Number of inquiry about dosimeters to PIO-NET [3].

これに対し、研究者・大学関係者による無償のボランティア団体は迅速な対応をしていたといえる。例えば事故から5日後にはWeb上の放射線量情報を一元化するポータルサイト Radmonitor311[6]や、1週間後には移動型センサによる線量測定と公開を行う SAFecast[7]が設立され、彼らの貢献によって線量の地理的な分布が大まかに知られるようになり、線量情報の「共有」が進みつつあった。しかしまだ、個々人が生活圏における放射線量をきめ細かく「測りたい」、また、そのリスクについて「議論したい」というニーズは依然として存在していた。

一方で、住民への安全情報の提供サービスを行う立場にある政府・行政の対応をみると、文部科学省が省庁や自治体などが個別に発表している放射線のモニタリング情報を集約するサイト「放射線モニタリング情報」を開設したのは事故から5ヶ月経ってからであり、さらに3ヶ月後の2011年11月より福島県内へのリアルタイム線量測定システムの設置を開始、延べ2,700台のモニタリングポストを設置したのは翌年2月になってからだった[8]。また、日本政府は事故後すぐにはSPEEDI（緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム）の試算結果を公開せず、国内外からの批判を受けて、2週間後に一部を、さらに2ヶ月後に全内容を公開した。こうした情報公開の遅延の背景として、政府の権限者に、値が絶対値ではないことや不確実性があることについて、社会に正しく伝えるスキルが無かった点が挙げられている[9]。なお、「放射線モニタリング情報」やSPEEDIの情報はWebやメディアを通じて一方的に提供されるに留まり、これらの情報について市民・専門家が議論をする双方向のコミュニケーションの場が用意されることはなかった。

市民と専門家間の信頼関係についていえば、当時のメディアを通じた放射線に関するマス・コミュニケーションの様子を振り返ると、主に海外・ソーシャルメディアの情報からは事故の深刻さが知らされる一方で、国内マスメディアに登場した多くの専門家は事故を過小評価する傾向があり、市民は政府・マスメディアや科学技術に携わる専門家に対して、非常に強い不信感をいだく結果となった[10]。放射線に対する過信・不信を減らすためには、互いに信頼し合った上で科学的な「議論」を展開する必要があるだろう。しかし福島原発事故以降のマス・コミュニケーションにおいては、市民と専門家が遠ざけられる結果になったといえる。

このように、福島原発事故後のリスクコミュニケーションにおいては、民間・政府のどちらも、放射線量について「測る」「共有する」「議論する」ための方策を市民へ有効に提供することができなかった。

1.2 参加型システム開発の必要性

広範囲の環境事故が起きた直後に、「測る」「共有する」「議論する」ための方策を市民が得るためには、政府・行政・有志団体・メディアによる情報提供や製造メーカーによる商品開発といった、役割の固定化した組織の管理下でシステム・サービスを設計開発し、市民・ユーザーのニーズを受けながら徐々にそれを進化させるという従来の方策（以下、役割固定型モデルと呼ぶ）では、迅速性の観点から不十分と考えられた。表 1-1 は、福島原発事故後における、従来の役割固定型モデルによるサービス提供の形態と問題点をまとめたものである。

福島第一原発事故のような大規模な環境ハザードにおいては、従来の役割固定型モデルではなく、図 1-3 に示すように、サービス受益者である市民社会の側にある多様なリソース（一般市民、地域住民、行政担当者、ソフト・ハード技術者、出資者、専門家など）をネットワーク化して巻き込むことにより、多様な能力を持つ人々を集め、相互協力によって「測る」「共有する」「議論する」という目的を達成する、アジャイル型・コンカレントエンジニアリング型のフレームワークを応用したシステム開発モデルの実現が期待された。本研究では、この形態を「参加型システム開発」と呼ぶことにする。参加型システム開発を実現するためには、プロジェクトの運営をオープンな形で社会全体に開放し、ソーシャルメディアを通じて専門家から市民まで様々な専門性を巻き込みつつ、資金面やスケジュールを含めたトータルなマネジメントを行なうような、ネットワーク指向のプロジェクトマネジメントが効果的であろう。

表 1-1 役割固定型のリスクコミュニケーション・サービスの提供形態

Table 1-1 Prescribed-role model for the risk communication after Fukushima.

提供する手段の内容	手段の提供主体			
	政府・行政	民間企業	有志団体	メディア
測る	× 測定器を市民に配布するまでの施策はとられなかった。	△ 急激かつ新しいマーケット需要に対応できなかった。	× 測定器の生産・提供を行うまでのリソースは無かった。	× 測定手段の提供、貸出サービスなどは行われなかった。
共有する	△ SPEEDI公表やモニタリング結果の共有に時間がかかった。	△ 製造メーカーによるネットサービス提供には限界があった。	○ Webによって迅速に情報共有を試みた。(Radmonitor 311, Safecastなど)	△ 一方的に政府見解を伝えるのみで自主調査や市民間の情報共有は行われなかった。
議論する	△ 専門家を交えた「市民との議論の場」の提供が不十分だった。	× ユーザが直接、開発者や専門家と話すことはできなかった。	△ ソーシャルメディアにより市民や専門家巻き込んだ議論までは発展しなかった。	× 政府・学者の意見を一方的に伝えるのみで、市民との双方向の議論はなかった。

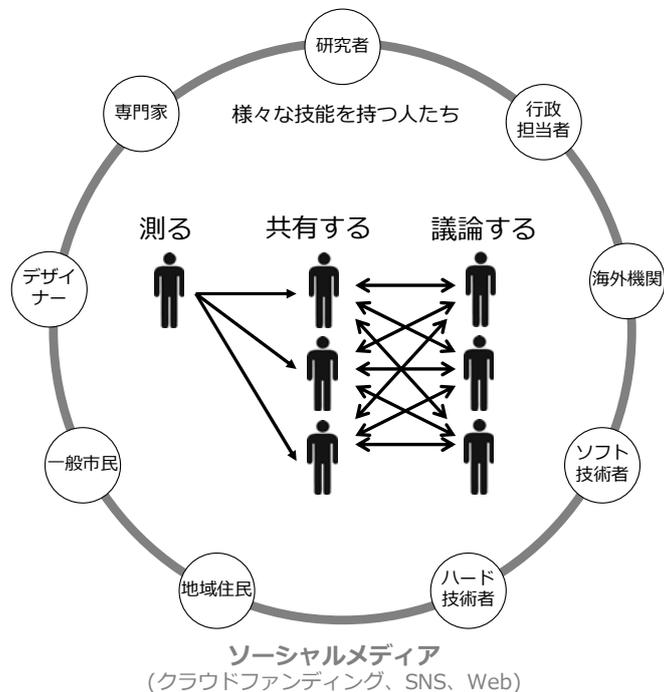


図 1-3 市民社会のネットワーク化による参加型のシステム開発

Figure 1-3 Participatory system development model based on social inclusion.

1.3 ポケットガイガーによるアクションリサーチ

低コストかつ高信頼な線量計の普及と、その測定結果の共有や議論のための場が求められる中、著者はプロジェクトマネージャ(以下 PM: Project manager)としてスマートフォン接続型のモバイル線量計「ポケットガイガー(Pocket Geiger)」[11] (以下、ポケガ)を2011年5月より研究・開発、3ヶ月後の8月には初代バージョンのType1 (図 1-4) をリリースした。震災後初の安価な個人向け線量計であったため半年で 1.5 万台以上が配布され、市民誰もが放射線を「測る」ことに大きく貢献した。また、ポケガはスマートフォンを利用したことにより、線量結果を互いに「共有する」ことができたばかりでなく、ソーシャルメディア上で線量情報を通じた放射線防護のための「議論」を行うことができた。このように、ポケガの研究開発とプロジェクトの運営自体が、図 1-3 に示した参加型システム開発のアクションリサーチとなっている。

以下でポケガにおける参加型システム開発について、その設計開発および評価改善の2つのフェーズに分けて特徴を述べる。



図 1-4 Type1 の外観図

Figure 1-4 Pocket Geiger (POKEGA) Type1.

特徴①「参加型の設計開発」:スマートフォンや汎用電子部品など、容易に入手できる機器・部品を用いることで、開発コスト・期間を抑える。また、これらの設計図をオープンソースとして公開することにより、客観的なアドバイスを得ることが期待できる。

特徴②「参加型の評価改善」:スマートフォンの情報共有機能（GPS、カメラ、ネットワーク等）と測定器を連携させ、ユーザによる実フィールドでの測定結果をソーシャルメディアにより広く情報共有してもらい、この共有により、住民がリスク情報の傾向を把握したり、比較検討できるようになるばかりでなく、客観的データを元に専門家に意見を求めることで、製品の信頼性の確認と改善のアドバイスを得ることが期待できる。

現在ポケガには、Type1～Type5 の全 5 モデルがリリースされている。初代バージョンの Type1 はセンサとして汎用 PIN フォトダイオード VBPW34 を使用し、3.5mm 汎用プラグによってスマートフォンと接続することで、計測に必要な演算をスマートフォン上で行なう※公表文献[a][b]。なお、各モデルの詳細仕様については 2 章で述べる。

これまで PIN フォトダイオードによって γ 線を検出できることは知られていたが[12-18]、スマートフォンの汎用マイクインタフェースを利用した開発事例はポケガが初めてとなる。ポケガの本体は、市販のミントキャンディーFRISK®のケースを流用した組み立て方式とし、 β 線遮蔽シールドは 10 円硬貨を使用するなどコスト削減を図ることで、配布価格は 1,850 円に抑えられた。

1.4 論文の構成

本研究は、①オープンソースによって様々な専門性を持つ人が開発に参加し、②スマートフォンの情報共有機能によって線量情報を共有・議論する事ができるという、参加型システム開発の特徴を具現化した線量計「ポケットガイガー」を広く社会へ普及させることによって、早期の環境監視・情報共有と専門家からのフィードバックを得、それらがもたらす効果と背後要因を分析するアクションリサーチである。図 1-5 に、本論文の構成を図示する。

本稿 1 章では研究の背景と目的についてまとめる。続いて 2 章では、既製品・汎用部品を利用した「ポケガ」のハードウェア・ソフトウェア設計を詳細に述べる。そこでコスト・開発期間の大幅な削減のための工夫と技術的課題の解決策が明らかになる。次に 3 章にお

いて、ソーシャルメディアを通じた開発情報の公開・共有過程について、資金調達や社会リソース利用の観点から整理する。ここでは、従来の製品開発のような契約・金銭によるリソース調達とは異なり、社会リソースをプロジェクト運営に巻き込む形で自主的・継続的に調達するというマネジメント手法が示される。次に 4 章では、参加型システム開発の特徴②「参加型の評価改善」に基づいて、専門家・技術者・一般ユーザの 3 グループが線量情報を共有し、専門家の意見を得ながら精度を確認しつつシステムを評価・改善させたプロセスを示す。

5 章では、これらの設計開発・評価改善の一連の過程において、専門家・技術者・一般ユーザという 3 つのプレイヤー間の関係性に着目して参加型システム開発のパラダイムをモデル化し、オープンソースをはじめとする類似のモデルとの比較を行うことで特徴を明らかにする。次に、開発フェーズの各段階においてプレイヤー間で引き起こされた時系列でのダイナミクスとインタラクションを詳細に分析し、開発手法としての有効性を検証する。次に、情報共有によって得られたデータが市民における信頼性を獲得するプロセスをモデル化・分析することによって、その運用面での有効性を検証する。6 章では参加型システム開発の今後の展開と放射線計測以外への応用について議論する。

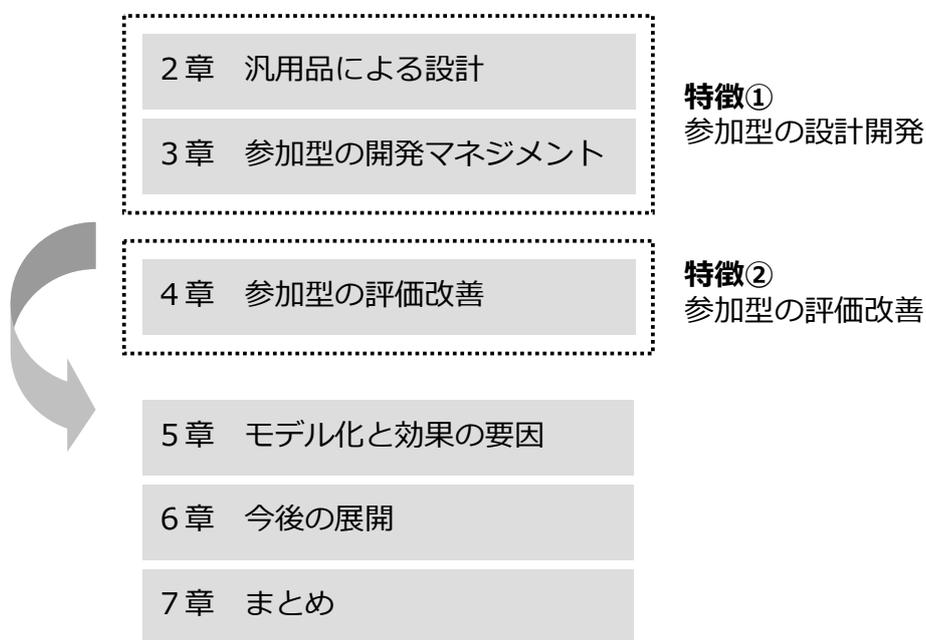


図 1-5 論文の構成

Figure 1-5 Chapter setting.

2. 汎用品による設計

2.1 2章の概要

本章では、低コストで迅速に開発でき、線量を「共有」できる線量計としてポケガを設計するための工夫を述べる。ポケガのハードウェア設計においては、表 2-1 に示すように容易に入手できる汎用部品・既製品を積極的に採用することでコストと設計調達コスト・納期の削減を図った。さらに、これらの設計図をオープンソースとして公開することによって、3章以降で述べる沢山の技術者・専門家を巻き込んだ開発が可能となった。

2.2 節では、表 2-1 に示した「部位」ごとに、ポケガで採用した既製品・汎用品の選定理由を順に紹介した上で、回路図と各モデルの詳細について説明する。次に 2.3 節において、スマートフォンのソフトウェア設計について詳細を述べる。

表 2-1 ポケガのハード開発における既製品・汎用品の採用

Table 2-1 Adopting general purpose and ready-made instruments on POKEGA.

部位	通常使用する部材	ポケガで採用した既製品・汎用品
センサ	GMT、シンチレーター等	汎用半導体 (PIN フォトダイオード)
計算部	マイコン	スマートフォン
操作表示部	液晶、ボタン	
ケース	プラスチック射出成型品	ミントキャンディーFRISK®の箱
β線遮蔽 シールド	板金アルミ板	10 円硬貨、アルミホイル

2.2 ハードウェア設計

本節では表 2-1 に示した「部位」ごとに、ポケガで採用した既製品・汎用品の選定理由を順に説明し、続いて回路設計の詳細と、各モデルの詳細な仕様を述べる。

2.2.1 PIN フォトダイオードセンサの選定

放射線測定の代表的な方式とその特徴を表 2-2 にまとめる。ポケガではセンサとして汎用 PIN フォトダイオードを利用したが、ポケガがリリースされる以前は、個人線量計で用いられるセンサとしては GMT（ガイガーミュラー）方式や、シンチレーション方式などが一般的だった。

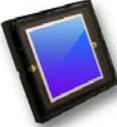
ポケガにおいて、PIN フォトダイオード方式を採用した理由は、次の 5 つである。

1. 誰でも入手できる汎用部品のみで設計でき、性能の客観的評価が容易であること。
2. 調達・製造コストが安価であり、納期も短いこと。
3. 一般ユーザへ配布するにあたり、定期的な校正など煩雑な運用が不要であること。
4. 原子力発電所事故に対処するための線量計であり、Cs-134 及び Cs-137 の放射線をベースに校正を行なえば良く、事実上エネルギー分解能は必要ないこと。
5. 感度が低い点については、測定時間を長くすることでカバーできること¹。

¹ Type1～3 の場合、0.05uSv/h の低線量地帯において 10～15 分程度の測定時間を要する。Type4～5 ではセンサの高感度化により測定時間は 2 分に短縮されているが、それでも一般的なシンチレーション式と比べると測定時間は長い部類となる。しかし福島原発事故後の一般市民における放射線測定のニーズにおいては、数分の測定時間は十分に許容されるものと考えられた。

表 2-2 代表的な放射線センサとその特徴

Table 2-2 Generally-used Radiation Detectors.

種類	特徴
<p>シンチレーション</p> 	<p>人工的に精製された結晶（NaI, CsI など）に電離放射線が当たると蛍光を発することを利用して測定を行なう方式。一般にγ線エネルギーと発光パルスの振幅に相関関係があるためエネルギー分解能が高く、γ線スペクトルを得ることもできる。微弱な光を検出するためのセンサ（光電子倍增管など）が別途必要であり、また、結晶も安価ではないため製造コストは高い。潮^{ちよう}壊性により、結晶が徐々に溶けて性能が劣化するため、定期的な校正が必要となる。</p>
<p>GMT (ガイガーミュラー管)</p> 	<p>金属製のチューブ内に不活性ガスを封入し、電離放射線が通過する際に発生する「なだれ電流」を利用して測定を行なう。放射線のエネルギーに関わらず計数を行なうため、エネルギー分解能は無い。シンチレーション方式と比較して安価だが、数百ボルトの高電圧を発生させる回路やガスの封入加工が必要であるため、製造コスト削減には限界がある。また、ガスの変質や漏れにより性能が変化することから、定期的な校正が必要となる。</p>
<p>PIN フォトダイオード</p> 	<p>CMOS 半導体に逆バイアスをかけ空乏^{くうぼう}層を生じさせ、その部分を電離放射線が通過した際に発生する微弱なパルスをチャージアンプ等により増幅して計数する方式。シンチレーションや GMT と比べると感度が低く、特にγ線など高いエネルギー領域の分解能は非常に低い。汎用 PIN フォトダイオードを利用すれば非常に安価に製造できる。一般に半導体はセラミックやエポキシにより強固にシールドされており、原理的に磨耗・劣化が起きないため、定期的な校正が必要ない。</p>

2.2.2 計算部・操作表示部へのスマートフォンの利用

ポケガは、スマートフォンへ 3.5mm ステレオミニプラグ（いわゆるマイク・ヘッドフォン用のジャック）によって接続される。ポケガ型のスマートフォン接続方式は、他の独立型の線量計と比べ、以下の 4 つのメリットがある。

1. 放射線計測に必要な処理を全て高速 CPU とソフトウェア（2.3 節で詳細に述べる）で行なう事ができるため、機能改善・追加が容易である。
2. マイコンや液晶などの操作表示部は全てスマートフォンのものを使うため、開発コストを抑えられる。ポケガ方式と、シンチレーション式および GMT 式線量計の機能ブロックの比較図（図 2-1）より、大半の処理がスマートフォン上で実装されていることがわかる。
3. スマートフォン以外にもノート PC など、上記 1,2 と同様の機能を有する汎用機器もあるが、生活圏のあらゆる場所の放射線量を測定するという可搬性の要求されるニーズにおいてはスマートフォンが最も優れている。
4. スマートフォン内蔵の GPS、通信機能、カメラ等により、測定状況の情報共有が可能となる。ソフトウェアの詳細については 2.3 節で詳しく述べる。

なお、3.5mm ステレオミニプラグを用いれば様々なスマートフォンに対応できるが、その一方で、スマートフォンの仕様（特にマイクの入力ゲイン）は機種・世代によって全て異なっているため、各機種を購入してパラメータを調査し、ソフトウェア上でキャリブレーションする必要がある。詳細は 2.2.4 項で述べる。

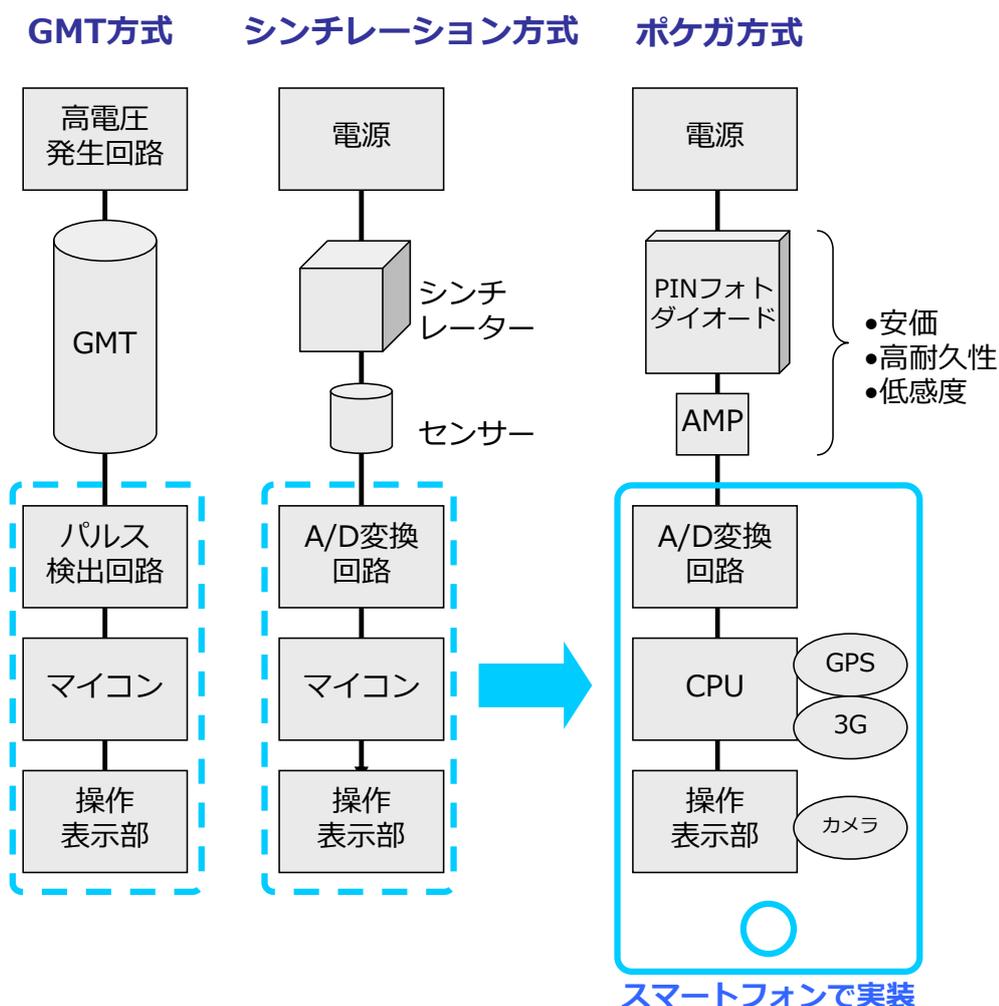


図 2-1 各放射線検出方式の機能ブロック図

Figure 2-1 Block diagrams for GMT, Scintillation and POKEGA detectors.

2.2.3 ケースとβ線遮蔽シールドでの DIY 組立方式の採用

最初のモデルである Type1 はユーザが自分で組立てる DIY キットとなっていた。ユーザは Type1 の実装済み基板を購入し、市販のミントキャンディーFRISK®のケースを流用して組立を行なう。通常の製品開発においては、ケースを作成するための金型代として一般に 100 万円程度、設計期間 2 ヶ月程度を要するが、ポケガでは FRISK®を用いることでこれらを省略することができた。なお FRISK®を選定するに至るまでには、コンビニやスーパーで様々な種類の食品 (PEZ®, ミンティア®, その他キャンディー類)、紅茶・タバコ・文具類のケースを購入し、実際に耐久性や基板を収めるための加工性などを調査検証した。

その結果、被災地を含む全国のコンビニ二等での入手性が良い点と、強度が十分に確保されている点から、本ケースを選定した。さらに、Type1 の製作では FRISK®の他に、β線遮蔽シールドが必要となるが、Type1 においては 10 円玉・アルミホイルなどで代用した。

ポケガ Type1 は、上記の材料と乾電池など身近にあるものを集めて簡単な工作を行ない、自ら所有するスマートフォンに接続することで、線量計を DIY で制作することができる。図 2-2(a)(b)に、組立工程の一部を示す。これら汎用材料の利用により、震災後初の個人向け線量計でありながら、開発期間は 3 ヶ月、配布価格は 1,850 円（送料込み）に抑えることができた。

なお、Type2 以降では開発期間やプロジェクトの資金力に余裕ができたため、ケースは FRISK®ではなく専用のプラスチック射出成型品を使用した。いずれのモデルにおいても DIY の思想を引き継いでおり、分解方法を Web 上で公開することで、ユーザによる積極的な改造を奨励している。図 2-3 に、Type1～5 の外観形状の一覧を示す。

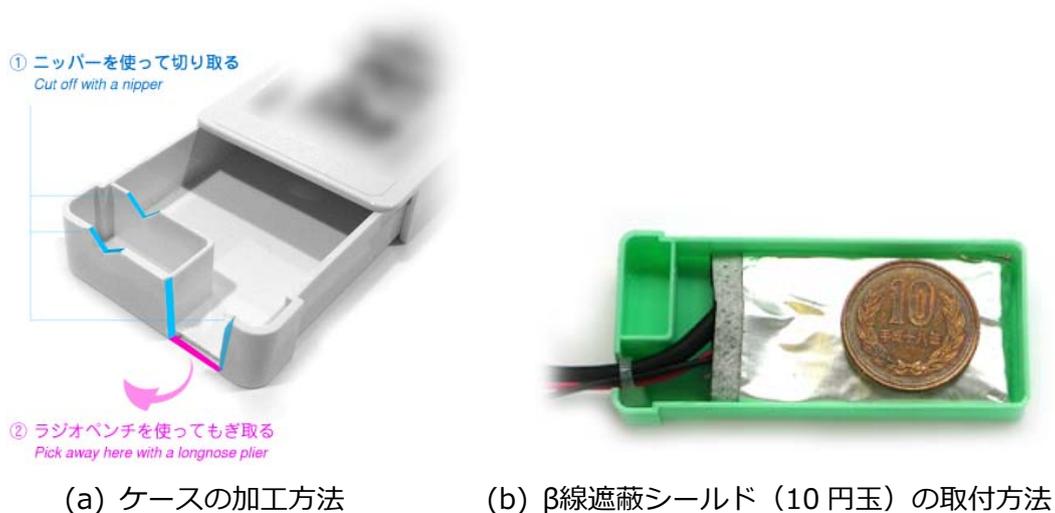


図 2-2 ポケガ Type1 の組立マニュアル（一部抜粋）

Figure 2-2 Photos on fabrication manual for PocketGeiger Type1.



図 2-3 Type1~5 の外観形状一覧

Figure 2-3 Product design for Types 1 through 5.

2.2.4 回路設計

ポケガはスマートフォンのマイク入力と接続される世界初の線量計であったため、その設計においては多くの工夫が必要となった。表 2-3 に、ポケガ Type1~Type5 までの開発履歴と各モデルの特徴をまとめる。また図 2-4 に Type1 の回路図を、図 2-5 に Type1~5 のブロック図を示す。なお、これらモデルの開発履歴については 2.2.5 項で詳しく述べる。

ポケガ Type1~4 はスマートフォンの 3.5mm ステレオミニプラグのマイク入力に接続

されるが、PIN フォトダイオードの発するパルスは非常に小さく、そのままではスマートフォンの A/D 回路によって検出できないため、回路内には信号を増幅するためのチャージアンプと、OP アンプを実装した。一方、スマートフォンの入力ゲインは機種・世代によって全て異なっている。そこで表 2-4 に示す通り、スマートフォンごとの閾値と線量変換係数 α [cpm/(uSv/h)] を求め、これを元にソフトウェア側で機種・世代に応じたパラメータを適用する仕組みを開発する必要があった。ここで α は、線量当量率 r [uSv/h] と計数率 n [cpm] より、次のように定義できる。

$$n = \alpha r \quad (1)$$

表 2-3 ポケガ各モデルの仕様比較

Table 2-3 POKEGA development history.

Type / Release date	Platform(s)	Sensor(s)	Feature(s)
Type1 Aug, 2011	iOS®	VBPW34, 8 pieces	KIT-style
Type2 Feb, 2012	iOS®	VBPW34, 8 pieces	Voltage generation by earphone signal
Type3 June, 2012	iOS® Android®	VBPW34, 8 pieces	Built-in comparator IC and Vibration detection
Type4 Aug, 2012	iOS®	X100-7, 1 piece	High sensitive radiation sensor
Type5 June, 2012	Arduino®, AVR®, PIC®	X100-7, 1 piece	For embedded micro controllers

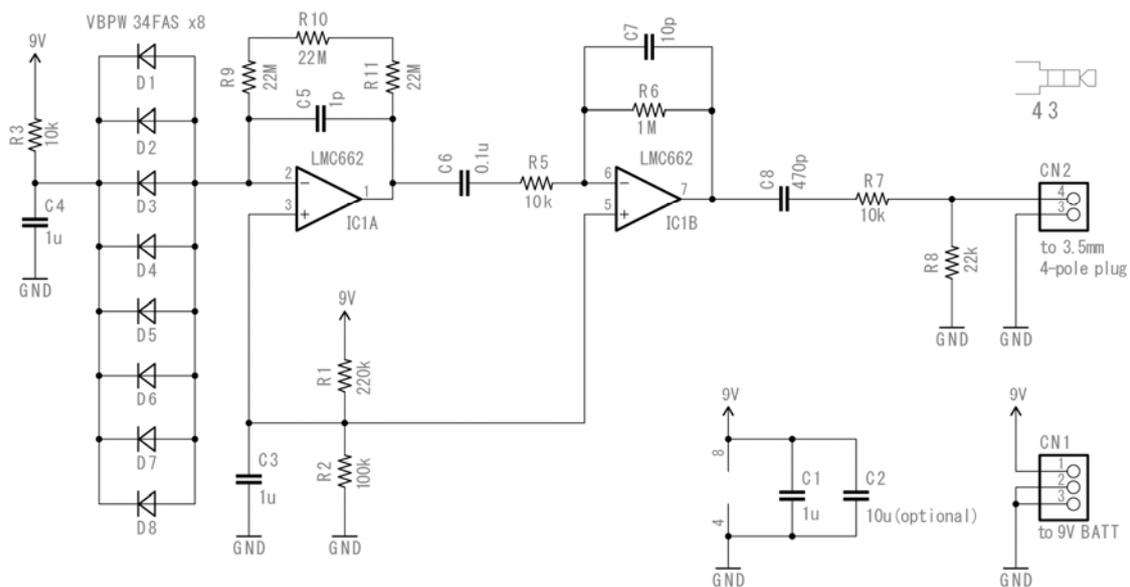


図 2-4 ポケガ Type1 の回路図

Figure 2-4 Circuit diagram for the Type 1 device.

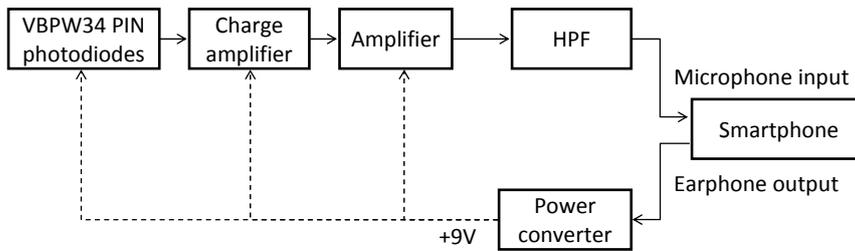
表 2-4 各 iOS®デバイスにおける放射線パルスに対する閾値
Table 2-4 Thresholds of Radiation Pulse on iOS® Devices.

Model	Generation	Threshold[%]	a [cpm/(uSv/h)]
iPhone® 3G	-	20.0	11.82
iPhone® 3GS	-	14.0	10.46
iPhone® 4	-	14.0	10.22
iPhone® 4S	-	16.9	10.37
iPod® touch	2 nd	13.0	12.21
	3 rd	13.0	12.21
	4 th	13.0	13.33
iPad®	1 st	16.0	9.855
	2 nd	17.0	10.64

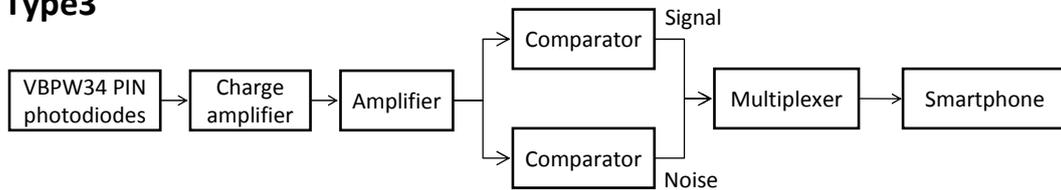
Type1



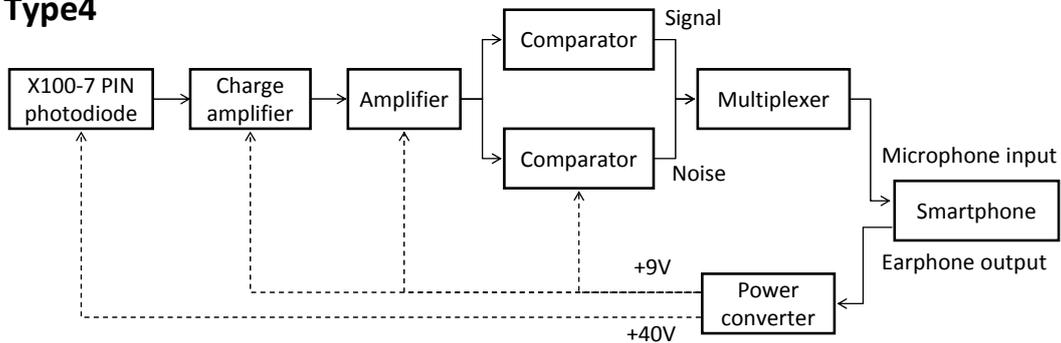
Type2



Type3



Type4



Type5

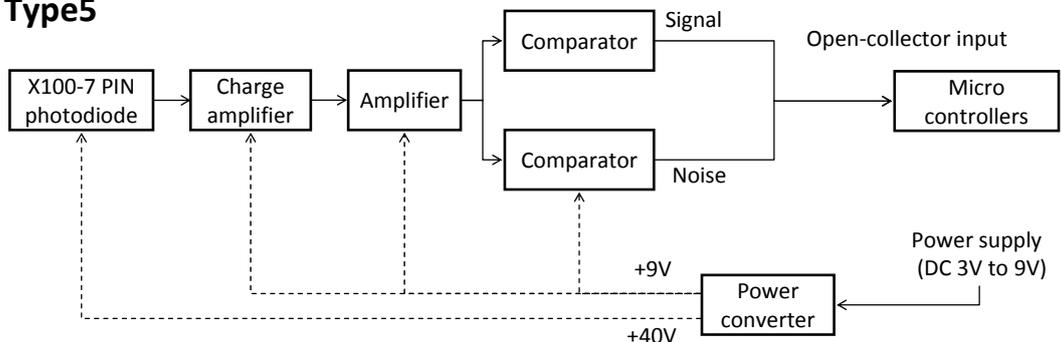


図 2-5 ポケガ Type1~5 のブロック図

Figure 2-5 Block diagrams for Types 1 through 5

2.2.5 各モデルの詳細な説明と設計上の工夫

Type1～3では、センサとして8個の汎用PINフォトダイオード(Vishay社製VBPW34)を使用した。一般にPINフォトダイオードの数を増やすほど検出効率(感度)を上げることができるが、一方で暗電流も増えるためS/N比が低下する。こうしたトレードオフを実験的に確かめた結果、本回路においては8個が適切であることがわかった。またセンサの接続方法(直列・並列)については、並列接続の方が検出効率が高いことが確かめられた。

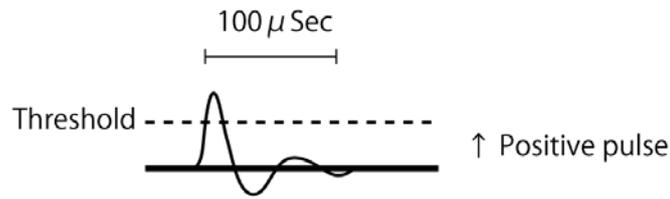
Type2は専用ケースに入った完成品であり、また、電源(9V電池)を必要としない。電力はスマートフォン側から音声出力(20kHz、ステレオ逆位相のサイン波)として供給され、それを整流・昇圧して利用している。これは、特に電池の入手が困難だった被災地からの声を反映した設計となっている。しかし、この電源回路を駆動するためにはスマートフォン側から100dBを超える大きな音を出力する必要があり、これがEUの条例[19]に抵触するため、Type2はEU諸国で販売されているiOS®デバイスでは動作できないことがわかった²。Type2の配布当時、ポケガは国内だけでなく海外への配布も開始されつつあったため、この問題は、次のバージョンであるType3を開発するきっかけとなった。このように、スマートフォンの仕様はモデル・世代だけでなく、販売国によっても微妙に調整がなされていることが多いため、スマートフォン接続型デバイスの開発には注意を要する。

Type3は、EU諸国のiOS®デバイスにも対応し、また、多くのユーザがいるAndroid®端末でも動作する。このType3以降ではコンパレータ回路が内蔵されたことで、表2-4に示したようなソフトウェア側での細やかな閾値設定は不要となった。また、このコンパレータ回路には、PINフォトダイオード方式の欠点である振動ノイズを検出する機能も備わっている。図2-6に、放射線パルスと振動ノイズの識別方法を示す。コンパレータは正方向と負方向に2つの閾値を持っており、正方向の閾値によって放射線パルスを、負方向の閾値によってノイズを検出する仕組みとなっている。ノイズを検出した場合には、ソフトウェア側において測定データの前後100msec程度のバッファを破棄することで、当該ノイズをキャンセルすることができる。

Type4～5は、FirstSensor社製の大面積ガンマ線検出用ダイオードであるX100-7を採用し、上述の振動ノイズ検出回路も内蔵している。センサの高感度化によって、Type1～3では標準的な空間線量(0.05uSv/h)において20分程度かかっていた測定時間が、2分程度に短縮された。

2 最新機種 of iOS®デバイスにおいては、この制限(EU Volume Limit)を設定により解除することができる。

Radiation pulse



Noise pulse

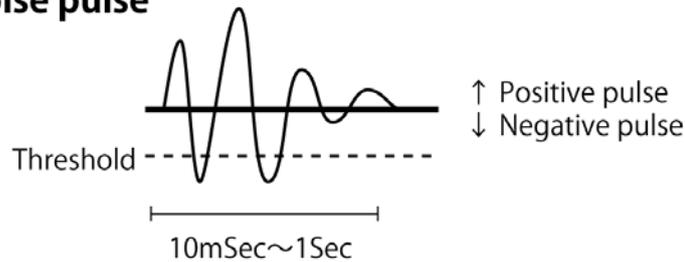


図 2-6 振動ノイズの検出方法

Figure 2-6 Detection mechanism for noise and radiation pulses.

Type4 では、Type2 と同様、音声出力を利用した電源回路を採用すると同時に、40V 程度の高電圧を生成するコッククロフト・ウォルトン回路を内蔵した。上記の X100-7 のガンマ線に対する検知効率が最大となる逆バイアス電圧が 40V 程度であるため、Type4 においてはこのような高電圧生成回路が必要とされた。

Type 5 は本稿執筆時点で最新のモデルであり、Arduino®, AVR®あるいは PIC®といったマイコンに接続するための組込モジュールとなっている。動作電圧は DC3V~9V であり、放射線パルスと振動ノイズの 2 種類のデジタル出力（オープンコレクタ）を持つ。

2.3 ソフトウェア設計

本章では、スマートフォンにおけるポケガのアプリケーションソフトウェアの詳細について、外部設計、内部設計、位置情報取得における配慮の観点からまとめる。

2.3.1 ソフトウェア外部設計

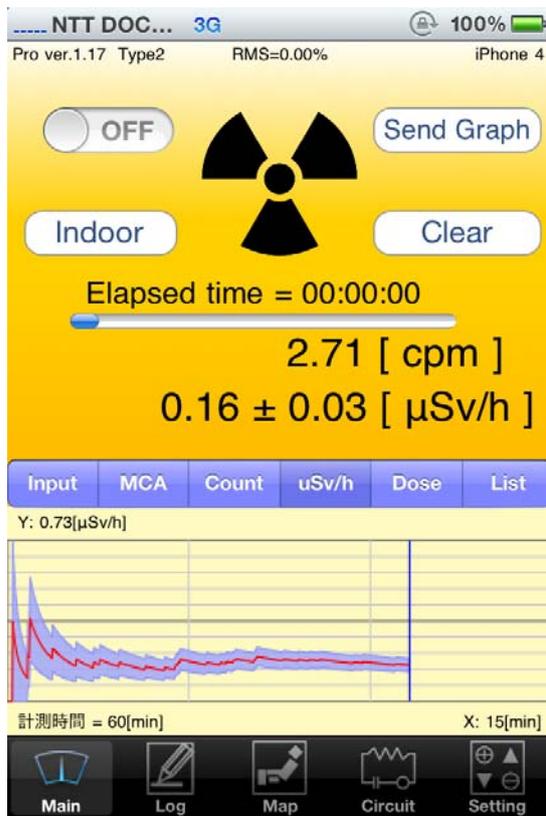
Type1/2/3/4 用のソフトウェアは AppStore または GooglePlay から、それぞれ iOS® および Android®スマートフォン用のアプリケーションとしてダウンロードすることがで

きる。また Type5 用の Arduino 対応サンプルコードは、ポケガの Web ページより Creative Commons ライセンスの元でダウンロードすることができる。

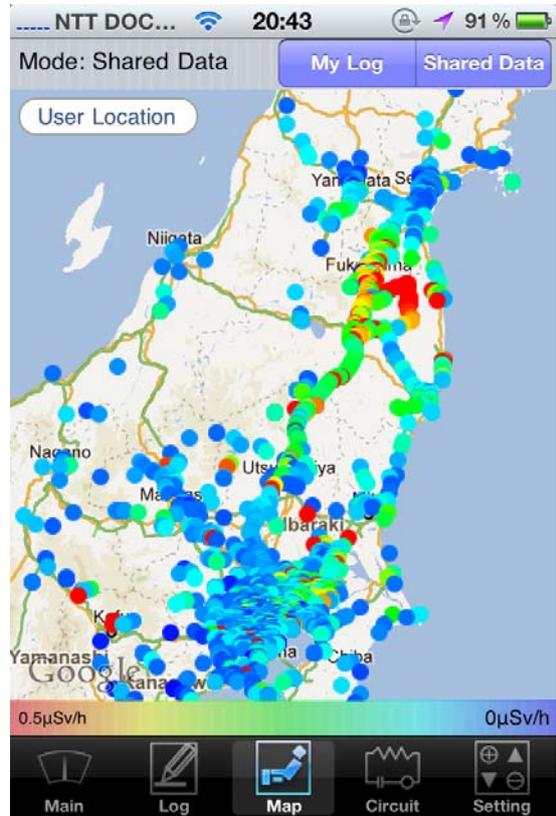
図 2-7 に、ポケガの iOS®向けソフトウェア「Pocket Geiger Pro」の画面キャプチャを示す。図 2-7 の主画面 (Main view) は、空間線量を測定しているシーンであり、グラフの横軸は測定時間の経過を示す。実線 (赤色) で示されるのが測定された線量の移動平均であり、その周囲を塗りつぶしているゲージ (青色) が 1σ の計数誤差を示す。空間線量は、画面上部に [uSv/h] の単位系で表示され、 \pm 以降には計数誤差が表示される。一般には、このように誤差範囲までを表示する線量計は少ないが、ポケガでは開発の過程で寄せられた専門家のアドバイスに応じて実装された。ポケガのように比較的感度の低い線量計の場合、計数誤差が収束するまでに時間を要することがあり、上記のゲージによって誤差の収束が視覚的に確認できる点は重要である。

図 2-7 のヒートマップ画面 (Heat-map view) は、スマートフォンの GPS 機能を使って、ユーザによって測定された線量値を集約し、地図上にプロットした画面である。ユーザが測定した値を互いにシェア・可視化することにより、線量の地理的な傾向を可視化することが出来る。なお、データをシェアするためにはユーザの同意を求めようになっており、また、サーバ側には UDID などユーザの個人情報は一切収集されない。

ソフトウェアには上記の機能以外にも、トリガー付きオシロスコープ (Oscilloscope mode)、MCA (Multi Channel Analyzer mode)、カウントログ (Counting log mode)、積算被曝量 (Total dose mode) などを表示するモードが備わっている。また、測定したログを閲覧したり、CSV ファイルを指定のメールアドレスに送信する機能も有する。表 2-5 に、CSV ファイルのフォーマットを示す。



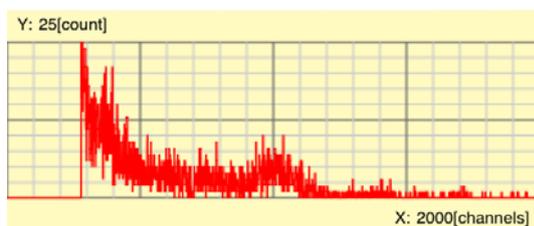
Main view (Dose-rate mode)



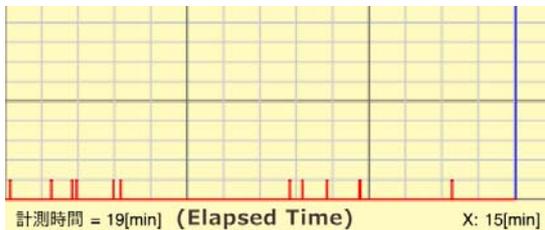
Heat-map view



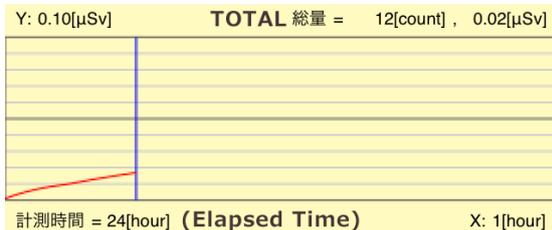
Oscilloscope mode



MCA mode



Counting log mode



Total dose mode

図 2-7 ソフトウェアの動作画面

Figure 2-7 Screen captures of the POKEGA application

表 2-5 CSV フォーマットで出力されるログの内容

Table 2-5 Log format in CSV data.

項目名	説明	例
Year	測定日時 (年)	2012
Month	測定日時 (月)	3
Day	測定日時 (日)	11
Hour	測定日時 (時間)	15
Min	測定日時 (分)	0
Sec	測定日時 (秒)	12
uSv/h	線量 [uSv/h]	0.05
uSv/h_error	線量の計数誤差 \pm [uSv/h]	0.01
cpm	線量 [cpm]	1.01
latitude	GPS の位置情報 (緯度)	35.68684956
longitude	GPS の位置情報 (経度)	139.565340107
location_accuracy	GPS の位置情報 (誤差)	30
altitude	GPS の位置情報 (高度)	67.468643
altitude_accuracy	GPS の位置情報 (高度誤差)	57
outside=1	測定条件 (屋内=1,屋外=0)	1
addr	住所 (取得できた場合のみ)	東京都調布市調布ヶ丘
URL	住所の URL (取得できた場合のみ)	
comment	コメント	

2.3.2 ソフトウェア内部設計

図 2-8 に、アプリケーションの通信動作に関する概要をまとめる。通常の放射線測定を行なうモード (Measurement Mode) においては、まず Google Geocoding API に接続を行い、インターネットへの疎通確認を行なうと共に、現在地の位置情報を元に住所情報の文字列 (例：東京都調布市調布ヶ丘) を取得する。測定した線量、位置情報、住所情報、日付時刻などはログ DB に保存され、定期的に線量情報の共有用 DB へ Web サーバ経由でアップロードされる。次に地図上に放射線量をプロットする可視化モード (Heat-map View

Mode) においては、表示したい地図上の中心位置と範囲を Web サーバへ問い合わせると、その応答として上述のログ DB より該当する測定データの一覧が取り出され送られてくるので、これらの情報を元に Apple®の地図 API を利用して可視化を行なう。なお Web サーバとの通信は https により暗号化されており、また、本アプリは AppStore や GooglePlay の認証を受けたデバイスのみにはインストールすることはできないので、悪意あるユーザがこれらの値を改ざんすることはできない。

図 2-9 に、放射線測定を行なっている時のプロセスの動作概要を示す。最も頻繁に実行されるプロセスは音声入カライブラリのコールバック関数 (Detection process) である。これは、マイク入力からの A/D 変換されたデジタル信号を処理し、信号の RMS や放射線パルス数[cpm]、線量当量率[uSv/h]、計数誤差 σ などの各種パラメータ (後述) を計算する。本プロセスの呼び出し方法としてタイマーを用いる方法も考えられるが、CPU 負荷がかかった際に処理が追いつかなくなり、測定に誤差がでる可能性があることから、コールバックを用いることとした。本コールバック処理は 1/44[sec]ごとに実行され、その結果得られた放射線のカウント数は、配列バッファ Array_radiation_count に順次追記される。

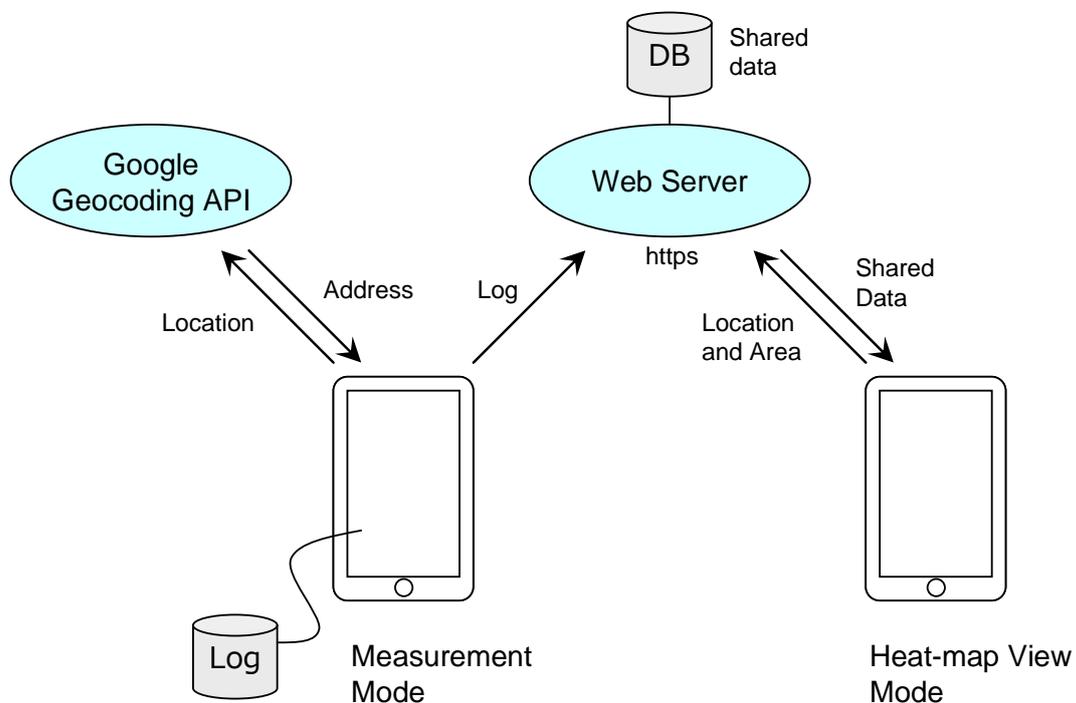


図 2-8 アプリケーションの通信動作概要

Figure 2-8 Transaction between APP and servers.

図 2-6 に示したノイズ検出機能をソフトウェア上で有効にしている場合は、本プロセス内で Noise pulse の検出も行ない、ノイズが検出された場合は測定データの前後 100msec 程度のバッファを破棄することで、当該ノイズをキャンセルする。なお計数誤差 σ は、放射線パルスのカウント率 n [cpm]および時定数 t [min]より、次式によって求めることができる。ここで、Type1/2/3 の標準の時定数 t は 20 [min]、Type4 では 5 [min]となっている。

$$n \pm \sigma = n \pm \frac{n}{\sqrt{2n\tau}} \quad (2)$$

全体処理を管理するプロセス（Control process）はタイマーによって 60 秒毎に起動される。このプロセスは、各種測定モードの設定を元に、各種機能制限を管理する。機能制限については 2.3.3 項で説明する。

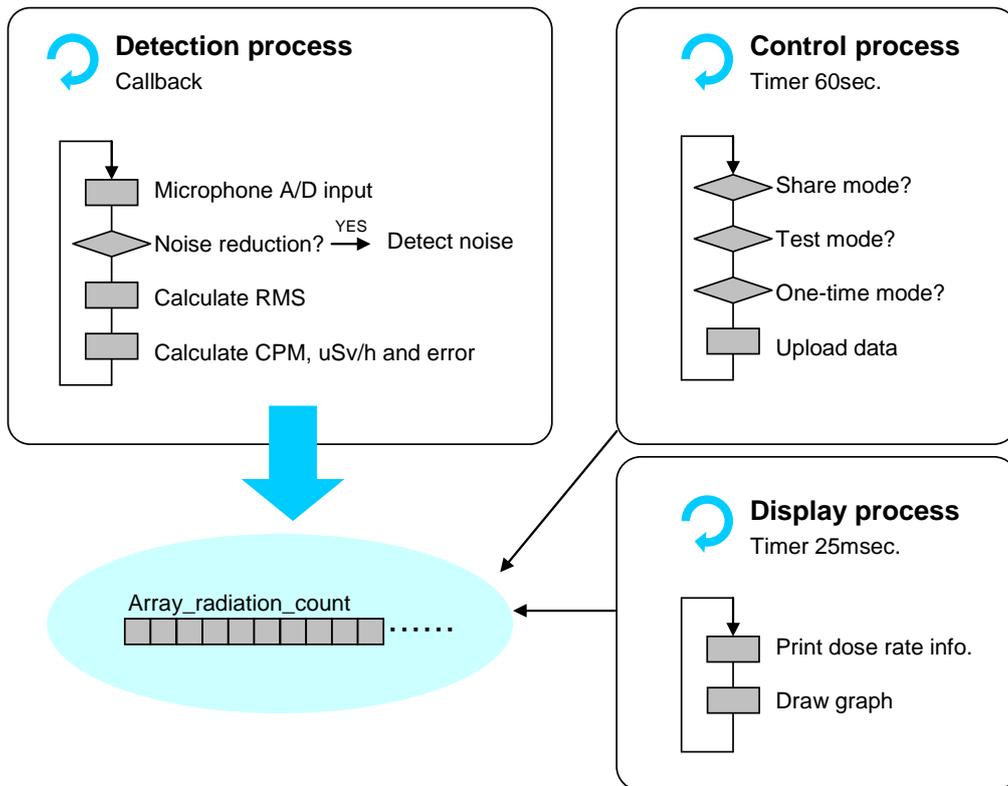


図 2-9 プロセスの動作概要

Figure 2-9 Processes in POKEGA Application.

2.3.3 位置情報取得における配慮

表 2-6 に示す通り、ユーザは本アプリケーションを使用するにあたり、「情報提供モード」と「一時テストモード」という 2 つのモード設定が可能となっており、これによって利用可能な機能が異なる。「情報提供モード」とは、図 2-8 に示した線量を共有するための DB ヘデータのアップロード（データ共有）を行う意思があるかどうかの確認項目となっており、ユーザは ON/OFF を選択することができる。これが OFF になっている場合でも、線量測定を行うことができるが、自身が測定した過去のログデータの閲覧・送信や、他のユーザによって共有された線量可視化マップの閲覧は制限される。これは、ユーザに対して情報提供を ON にするモチベーションを持ってもらう目的と、情報提供を行っていないにも関わらず他のユーザによって共有された線量情報を閲覧できるといった、いわゆる「ただ乗り」による他のユーザーにおける不公平感を減らすための工夫となっている。また「一時テストモード」は、線源などを使って高い線量を測定したり、試験のためポケガにノイズや衝撃を与えて誤作動させる時に使用するモードであり、「情報提供モード」が ON であり、かつ、「一時テストモード」が OFF の時にしかデータ共有は行われない。

表 2-6 測定モード設定とアプリケーション機能制限の関係

Table 2-6 Application limitation based on mode settings.

ユーザによる モード設定		利用可能な機能			
情報提供 モード	一時テスト モード	線量の測定	測定した線量 の自動アップ	地図モード	ログ閲覧 ・送信
ON	OFF	○	○	○	○
OFF	OFF	○	×	×	×
—	ON	○	×	×	△ (閲覧のみ)

これらのモード設定は、アプリケーションの最初のバージョンでは実装されていなかったが、一部のユーザから「位置情報はプライバシー情報にあたる」との指摘があったため実装された。またその後、「一時テストモード」についてもユーザからの提案により実装された。PM としてはユーザにデータ共有をなるべく積極的に行なってもらいたいために上記の機能制限等を設けてはいるが、基本的にはユーザのデータ共有に対する意思確認結果を最も優先した仕様となるように配慮した。

2.4 2 章のまとめ

福島原発事故後のリスクコミュニケーションにおいて欠けていた「測定」「共有」を実現するための方策として、迅速かつ安価に開発可能であり、スマートフォンの GPS やパケット通信網により線量情報を「共有」することができるスマートフォン接続型線量計「ポケットガイガー（ポケガ）」の設計内容を示した。

迅速・低コストな開発を行なうことができた背景として、これまで線量計としてニーズの少なかった汎用半導体（PIN フォトダイオード）の採用、スマートフォンと 3.5mm プラグの連携による部品点数の削減、ミントキャンディーFRISK®や 10 円硬貨を転用した DIY による半製品化を挙げた。大幅な設計簡略化と納期短縮の一方で、感度の低さ、振動ノイズに弱い点、スマートフォンの使用がモデル・世代によって異なる事など、技術的に解決すべき点もあり、これらはハードウェアのバージョンアップによって徐々に改善された。

これらの工夫により、ポケガは震災後初の国産線量計として 2011 年 5 月より開発に着手、3 ヶ月後の 2011 年 8 月にはリリースが完了し、Type1 は 1,850 円（送料込み）と、世界で最も安価な価格帯に設定することができた。

なおポケガの設計図は順次、プロジェクトの Web ページでクリエイティブ・コモンズ・ライセンスの元でオープンにされており、現在も世界中のエンジニアや研究者から改善提案などのフィードバックが寄せられている。技術者であれば誰もが入手できる既製品・汎用品を積極的に採用したことが、結果的にこのような広がりをもたらしたものと考えられる。

3. 参加型の開発マネジメント

3.1 3章の概要

2章では、スマートフォンや汎用電子部品の利用やDIY方式の採用により、開発コストの抑制と短納期化を目指した設計手法を示した。これらの独創的な設計図やプロジェクトの概要は、当初から広くソーシャルメディアを通じて公開されていたため、結果として人々の興味・共感を呼び、世界中の人々から様々な支援（外部リソース）を得ることができた。

本章では、ポケガの開発における資金、生産設備、人的リソース、知財・専門知識など各リソースの調達・管理の観点から開発プロジェクトのマネジメントを整理し、それらの中で、外部の投資家・エンジニア・専門家からどのような協力を得ることができたかをまとめることで、「参加型の設計開発」が急速に巻き起こった過程を明らかにする。

3.2 リソースの外部調達

ポケガの参加型のシステム開発プロジェクトにおいては、表3-1に示す通り、様々な開発リソースを外部から調達することとなった。一般に外部調達というと、表3-1の「通常の調達方法」に示したような手法が一般的である。しかしこれらは、契約関係や金銭的な投資・対価を必要とするため、事前の準備手続きに相応の時間がかかる。そこで本アクションリサーチではポケガに興味のある人々を積極的に参加型システム開発のプロセスへ急速に巻き込む形で、自主的な協働体制を作ることを目指した。以下で、表3-1に示した各リソースごとに、ポケガの開発において採用された方法を詳細に述べる。

表 3-1 リソースの外部調達

Table 3-1 Out-sourcing of resources.

種類	通常の調達方法	今回採用された方法
資金	競争資金獲得、銀行借入など	Kickstarter.com
広告宣伝	広告代理店、宣伝会社との折衝	パブリシティ
人的資源	自社雇用、外部委託	ソーシャルメディア
知的財産	特許取得、ライセンス購入	オープンソース
生産設備	設備投資、既存ライン変更	被災工場の技術活用
サポート	サポートセンター開設	Facebook

3.2.1 資金

資金調達はソーシャルファンディング（クラウドファンディングとも呼ばれる）の一種である Kickstarter.com を利用した。これは、Web によってプロジェクトをアピールし、金額に応じた「見返り(pledge)」によって投資者を募るサイトである。図 3-1 に、Kickstarter における本プロジェクトの紹介画面を示す。ソーシャルファンディングを使用した理由は以下のとおりである。

1. ボランティアメンバーだけでは、初期ロットの基板を作成するための金銭的余裕がなかったこと。
2. 迅速性の観点から、国などの競争資金の獲得、銀行や投資家による外部資金の調達が現実的では無いこと。

結果的にファンディングは成功し、4 日間で初期ロットの製造に必要な目標額の\$5,000 を達成し、24 日間で\$15,000 程度の資金を集めることが出来た。表 3-2 に本プロジェクトにおける「見返り」と、2011 年 7 月末時点での投資者数をまとめた。ここで\$5、\$20 及び\$120 の「見返り」は、技術者向けに回路図をオープンに提供しつつ、資金を集めることを意図しており、実際にこれらの「見返り」には、計 85 名の投資者が集まった。こうした技術者兼投資者の多くは、ソーシャルファンディングだけに限らず、評価改善において様々な支援を行なった。これらの詳細は 4 章で示される。

図 3-2 は、国ごとの投資者数を示す。海外のサイトであるにも関わらず、アメリカよりも日本からの投資が最も多かった事がわかる。3 位以降にはドイツ、スイス、カナダ、イタリア、オランダ、ノルウェーなど、原発問題を抱えており環境に対する意識の高いといわれる EU 諸国が見受けられる。

一般にソーシャルファンディングでは、エンターテイメント系やガジェット（おもちゃ）系の出品が多く、人気もある。今回のような実用一点張りのプロジェクトに対する投資が成功した背景として、福島原発事故のニュースが世界的に報道され、人々の間で強い問題意識や支援の意識が芽生えていたことが挙げられる。実用的なプロダクトに対して平常時においても多くの人の支援を得るためには、その社会的価値や背後の問題点を的確に訴求する必要があるだろう。この点については 6.3 節で詳しく議論する。

なお、Kickstarter は世界中から個人投資家を集めることができるが、プロジェクトを創設できるのはアメリカに住所がある者のみとなっている。そのためアメリカの知り合いの伝を辿るなど、立ち上げには相応の準備を要した。さらに、プロジェクトが成功したとしても、実際に資金が振り込まれるのは 2~3 週間後であるため、ポケガのようにリリースを急ぐプロジェクトの場合、結局は自己資金や借入れなどが必要となってしまう点に注意が必要となる。本プロジェクトでは資金の振込みを待つ時間的余裕が無かったため、結果的に自己資金や友人からの借入などのいわゆる「つなぎ資金」によって、足りないイニシャルコストをまかなわざるを得なかった。

一方、Type3 の開発においては日本のソーシャルファンディングサイト「CAMPFIRE」を利用したが、こちらは目標額に達せず失敗に終わり、結果として全て自己資金で開発せざるを得なかった。ソーシャルファンディングは当時、まだ日本人一般にとっては目新しいものであったためと考えられる。

ソーシャルファンディングを成功させるためには、投資者にプロジェクトの目的を的確かつ短時間で伝える必要がある。特に、他の Kickstarter プロジェクトのコンテンツは良質な画像・動画にあふれており、これらの品質が悪いと思うようにユーザーの興味を惹く事ができず、プロジェクトが失敗してしまうことも予測されるため、映像の作成には相当の労力が必要とされる。ポケガプロジェクトを Kickstarter へ投稿する際も、写真写りや、動画がテンポの良いシナリオで展開されるよう、表現の面において相当の注意を払った。



ABOUT THIS PROJECT

Smart Radiation Detector

We are going to manufacture and sell the Smart Radiation Detector connected with iPhone / iPod Touch / iPad via microphone input, at a low price less than fifty dollars by using cheap PIN Photo-diode instead of expensive Geiger-Muller Tube to detect beta and gamma radiation. For more information about the Detector, please visit our project website (<http://www.radiation-watch.org>).

The actual electronic circuit is so simply it fits inside a match box or a FRISK mint-box, except battery. The applications for iPhone / iPod Touch / iPad is available in App Store. The Lite-version is free and the Pro-version is \$5.

167 BACKERS

\$15,058 PLEDGED OF \$4,375 GOAL

0 SECONDS TO GO

FUNDING SUCCESSFUL
This project successfully raised its funding goal on July 31.

PLEDGE \$1 OR MORE
7 BACKERS
Your name will appear in our project web page as a personal sponsor with appreciative words.

PLEDGE \$5 OR MORE
20 BACKERS
Receive a file of circuit diagram, for hackers.

PLEDGE \$20 OR MORE
23 BACKERS
Receive files of circuit diagram and garber data, for hackers.

図 3-1 Kickstarter 上のプロジェクト画面
Figure 3-1 Screen captures of the Kickstarter project

表 3-2 「見返り」の詳細と投資者数(2011年7月31日)

Table 3-2 Suggested pledges and number of backers.

投資額	「見返り(Pledge)」の内容	投資者数
\$1	Web ページに投資者の名前を掲載	7
\$5	回路図を提供	20
\$20	回路図とガーバーデータ(GD)を提供	23
\$100	ポケガ 1 個を発送	69
\$120	ポケガ 1 個、回路図と GD を提供	42
\$400	ポケガ 5 個、回路図と GD を提供	1

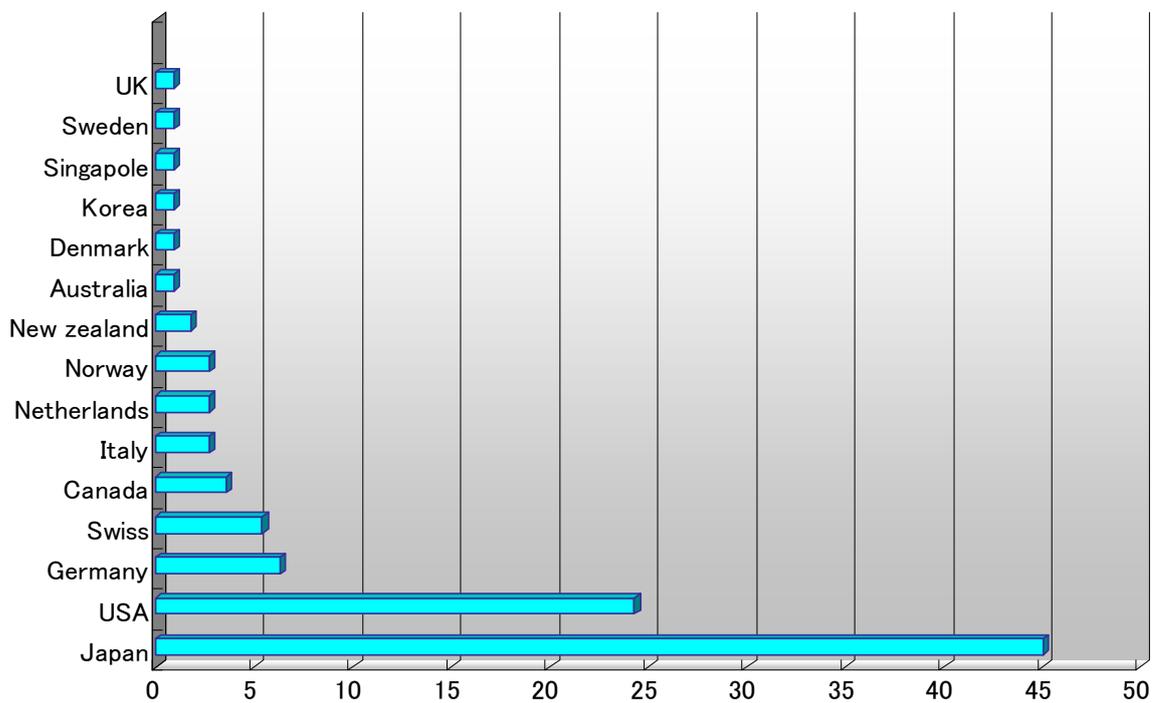


図 3-2 投資者の住んでいる国

Figure 3-2 Backers' countries.

3.2.2 広告宣伝

本プロジェクトを運営する上で、広告宣伝に使う資金は全く無かった。そこで、Kickstarter を通じたネット上でのアピールや、口コミでの伝播を期待していた。実際に資金調達が始まると、ポケガプロジェクトの紹介文書や動画は Kickstarter から他のソーシャルメディアへ次々と転記され、資金調達サイト内だけに留まらない広がりを見せた。

図 3-3 は 2011 年当時の、プロジェクトへの投資額の推移である。7 月 10 日ごろにインターネットニュースサイトの Gizmodo に掲載されたのをきっかけに Make や Gigazine など他のメディアへと転記され、Twitter や Facebook によって情報が一気に拡散した。これに伴って投資額が急激に上昇したことがわかる。

これらインターネットメディアによる主体的な記事掲載は当初から意図していたものではないが、結果として大きな広告宣伝の効果をもたらしたといえる。掲載されたネットニュースの抜粋を図 3-4 に示す。Kickstarter のプロジェクトが終了した後も、上記ネットニュースをきっかけとして海外新聞社やテレビ局など様々なメディアから取材のオファーが入った。

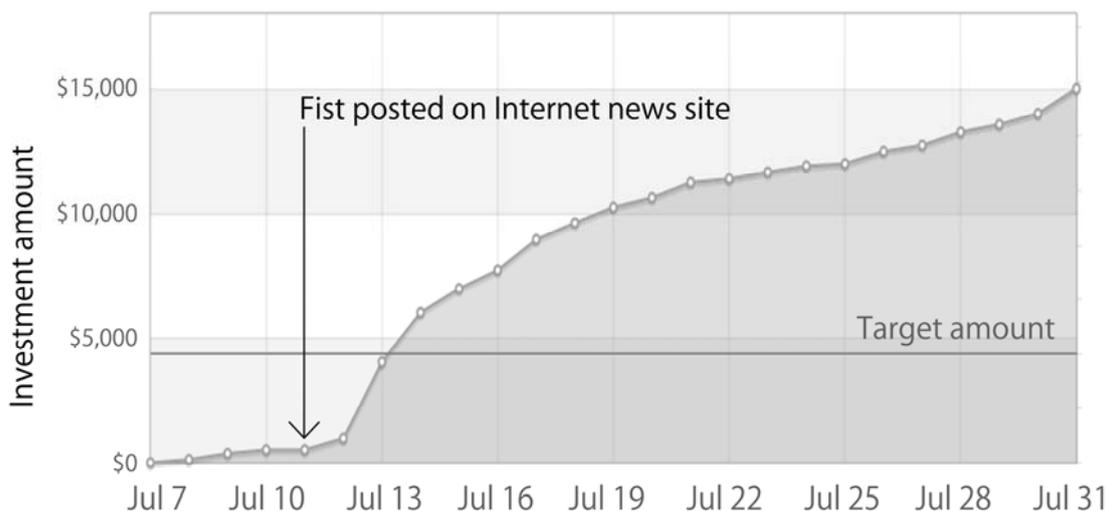


図 3-3 投資額の推移(2011 年当時)

Figure 3-3 Investment amount trends (2011).



C|net



Mobile MAGAZINE



GIZMODO



Make: Japan



Mobile Today



PC Watch

図 3-4 ポケガを特集したネットニュース
Figure 3-4 Net news featuring POKEGA.

3.2.3 人的資源

前述の Kickstarter による資金調達と広告宣伝は、人的資源確保の面でも予想外の効果をもたらした。実際、表 3-2 に示した通り回路図などの知的財産を実際に技術者向けに提供したところ、世界中の専門家から協力オファーが寄せられた。具体的には、放射線計測に関する専門知識の提供、キャリブレーション試験の実施（詳細は 4.2 節）、各種フィールドテスト（詳細は 4.3 節、4.4 節）、回路シミュレーション、ノイズ対策や感度向上提案などである。こうした専門家による協力的行為は当初全く予測していなかったものだが、結果として言えば、ソーシャルファンディングは投資だけでなく、開発チームを集めることにも繋がった。協力者へのインタビュー記事[20]によれば、こうした協力的行為の動機として、プロジェクトの趣旨への強い共感が挙げられている。

3.2.4 知的財産

得られたポケットガイガーの実験データや最終成果品の回路図は現在、CC（クリエイティブ・コモンズ）ライセンスの元で順次公開されており[11]、それらは商用・非商用を問わず誰でも利用できる。

このように、知的財産を独占的なものとせず、共有知（コモンズ）として開放することによって開発を行なう手法は、近年、オープンソースソフトウェアあるいはオープンソースハードウェアと呼ばれ定着しつつある。なお、ポケガにおける開発パラダイムとオープンソースとの違いについては、5.3.1 項にて議論する。

3.2.5 生産設備

ポケガの生産にあたっては、当初から東日本大震災の被災メーカーと協力したいと考えていた。そこで商社等を通じてヒアリングをしたところ、津波被災地である宮城県石巻市に立地する精密電子機器工場（図 3-5）と生産委託の交渉ができることとなった。この会社は大手電機メーカーの OEM 製品の設計・製造・検査を行なってきた実績があり、ポケガの生産には適していた。しかし、ポケガプロジェクトのように新規の案件で、しかも放射線測定器という精密性の要求される案件であるにも関わらず、安価な販売価格を想定していること、また、これまで全く取引実績の無い個人からの唐突な依頼であること、あるいは、オリジナル商品をリリースした経験が無いこと等から、当初はコラボレーションに難色を示していた。そこで経営幹部と直接対談して、プロジェクトの目標や、会社にとっても将来的に有望なソーシャルビジネスになる可能性があること、Kickstarter による資金調達の

目処や、専門家とのコラボレーションが進みつつあること等について話をしたところ、信頼を得て、協力をとりつけることができた。

ポケガの生産においては、工場側としては「地震や原発事故による売り上げ減を補うことができる」という思いがあり、またプロジェクトの運営側としては、「受注が減っていた被災地の生産技術を活用しつつ、雇用確保に貢献できる」という狙いがあった。同時に、メイド・イン・石巻であることがメディアなどに取り上げられることで、結果として製品の知名度向上に貢献するという副次的な効果も得られた。

こうした、製品そのものの機能・価格だけではなく、プロジェクトの運営姿勢や社会的な波及効果に対してユーザが共感を得るような価値を持つ製品は、ソーシャルプロダクトと呼ばれる[21]。本プロジェクトにおいては被災企業との連携によって雇用確保に貢献しつつ、結果として製品にソーシャルプロダクトとしての付加価値を与えることができた。

このような付加価値は、当初から狙っていたというよりは、プロジェクトを進めていくうちに周囲の反響によって逆に気づかされたという面が大きい。こうした波及効果に気づいてからは、Web サイト中に積極的に工場の写真を掲載したり、パッケージ（外箱）の背面に「MADE IN ISHINOMAKI」であることを表記するなどして、石巻産であることを積極的にアピールすることとした。



図 3-5 ポケットガイガーの製造工程（宮城県石巻市）

Figure 3-5 Fabrication process of POKEGA (Ishinomaki city, Miyagi).

3.2.6 サポート

当初サポートに関しては、専用のコールセンターを開設する人手が無かったため、SNS(Facebook)で質問を受け付ける体制をとった。SNSであれば開設費用が無料である上、ユーザ全員が質問と回答のやり取りをシェアできるので、サポートの効率化が図れると期待されたからである。ところが実際に運用を開始してみると、想定されたユーザ対技術者の構図ではなく、ユーザ同士で互いにフォローし、問題解決のために助け合うというインタラクションが多く生まれた。また、ユーザが様々な場所でポケガの性能を独自にレポートし、その結果について議論するような場面も多くみられた。結果としてPMは、サポートにかかる労力の多くを外部調達することができた。SNSでのインタラクションの詳細については4.5節で述べる。

3.3 3章のまとめ

本章では、一般に製品開発において必要となる「資金」「広告宣伝」「人的資源」「知的財産」「生産設備」「サポート」の6種類のリソースについて、契約関係によって外発的・一時的に獲得するのではなく、社会リソースをプロジェクト運営に巻き込む形で自主的・継続的に外部調達するという、参加型のプロジェクトマネジメントの一形態を示すことが出来たといえる。

出発点となったのはソーシャルファンディングによる「資金」というリソースの確保であった。その結果として、プロジェクトが多くメディアによって人々に伝えられ、パブリシティによる「広告宣伝」へとつながった。また同時に、プロジェクトへの共感によって優秀な「人的資源」が集まることで、4.2節~4.4節に示すような、専門家を巻き込んだキャリアレーション試験や、実環境でのフィールドテストを実施できることに繋がったと考えられる。ソーシャルメディアを通じたこれらの議論や成果物（回路図、実験データなど）といった「知財」リソースは、随時オープンソースの形でプロジェクトのWebページに公開することにより、希望者はいつでも開発プロジェクトへ参加できる体制をとった。

こうしたオープンな運営姿勢と、明確な目標設定により、ポケガのプロジェクトは多くのファンを獲得し、Facebook上ではリリース直後から活発な議論がなされた。コミュニティの活性化により、「サポート」のリソースも技術者側からの一方的供給ではなく、ユーザー同士の双方向の支援により解決される場面がほとんどとなった。リソースの外部調達によって生まれたソーシャルメディア上での自主的コミュニティの誕生は、次章で述べる専門家・技術者・一般ユーザーを巻き込んだ参加型の評価改善の行動へと繋がっていく。

4. 参加型の評価改善

4.1 4章の概要

本章ではポケガの測定値の信頼性評価について、①ポケガ単体での性能評価、②実フィールドでの測定値、③共有された値の測定値、の3つの観点から述べる。ポケガの参加型開発においては①②③のいずれについても、専門家、技術者あるいは一般ユーザが互いに協力しながら性能評価・精度確認・改善提案を行うことで、測定値の信頼性が担保されてきた。通常の製品開発においては、専門家による性能評価・性能確認、製品としての完成度を上げるための改善、あるいは様々な地点において正しく動作するかの検証といった一連の開発作業は、製品発売前に、製造メーカーの閉じられた環境で実施される。しかしポケガの開発においては、まずはコンセプトや回路図が公開され、続いてベータ版のような形で製品リリースが行われ、広く社会での客観的な評価を求めた上で、必要な要素が改善されるという、オープンな環境の下で複数のプレイヤーが携わる開発プロセスを経ることとなった。

4.2 ポケガ単体での性能評価

ポケガの最初の性能評価は、意外にも海外で行われることになった。オランダ国防省、オランダ国立計量局及びデルフト工科大学のメンバーらがKickstarterを通じてプロジェクトに興味を持ち、同施設を使って実験することを提案してくれたからである。このため、Type1はオランダにて、Hp(10)スコープに基づく性能試験を受けることができた[22]。実験は、2011年7月からおよそ2か月をかけて行った。その実験結果(図4-1)によれば、Type1はCs-137より放射される γ 線に対してほぼ線形な応答特性を有し、測定範囲は0.05 [uSv/h]から10 [mSv/h]であることが確認された。この範囲で日本国内のほぼ全ての空間線量をカバーすることができ、Type1は実用上十分な性能を有していることになる。

一方、線量計を製作する上で必要となる β 線遮蔽シールドについては、用いる材料・厚みによって遮蔽性能が異なることが知られており[23]、ポケガに適したシールド材料を見つける必要があった。そこで様々な金属材料を使って β 線遮蔽性能が確かめられ、10円硬貨が β 線シールドとして有効であることが示された。

本実験においては、図4-2に示す高度な実験設備がデルフト工科大学より無償で提供さ

れた。また、オランダ国立計量局から公的な証明書（図 4-3）が無償で発行されたことにより、ポケガの性能の客観性を示すことができた。なお、本実験のメンバーはその後もセンシングに関するアドバイスや、測定された値の考え方について SNS 上で有益な意見を投稿している。例えば 4.5.3 項の図 4-15 において、ポケガを入手予定のユーザーに対して Facebook グループ上で有益なコメントを残している Cees 氏は、オランダ国立計量局に所属し、本性能評価実験の主要メンバーである。

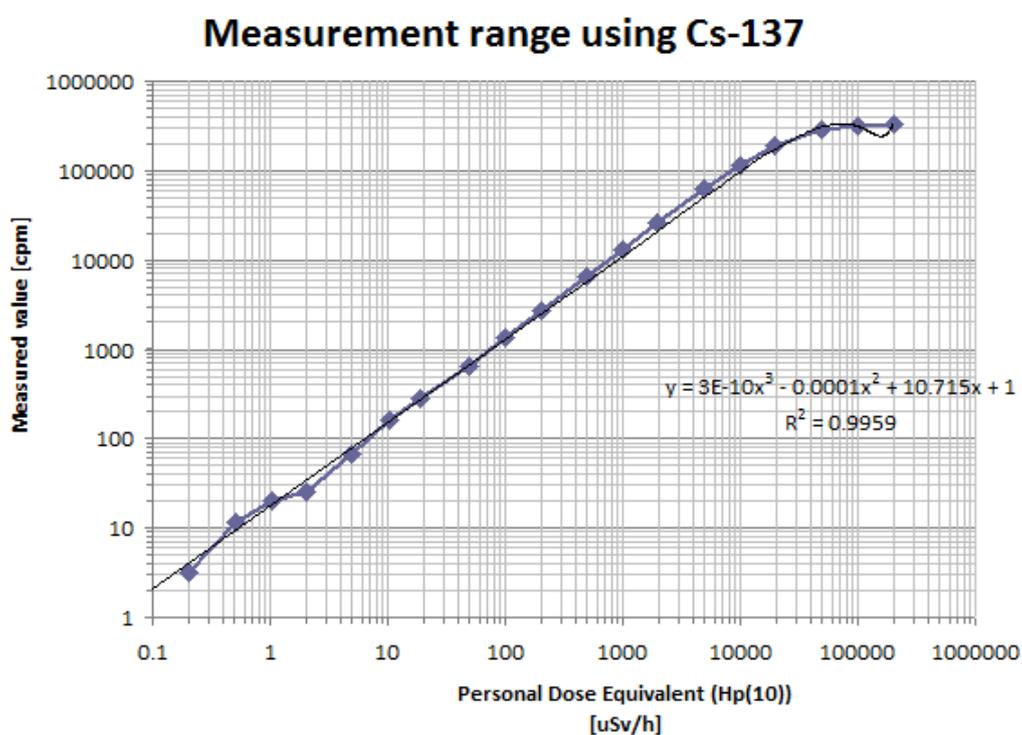


図 4-1 ポケットガイガーType1 の Cs-137 応答特性 [24]

Figure 4-1 Measurement range of POKEGA Type1 using Cs-137 [24].

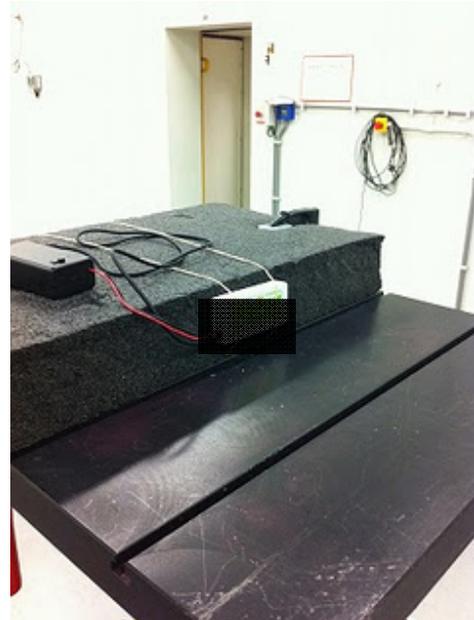


図 4-2 応答特性の実験風景（デルフト工科大学）
Figure 4-2 Photo taken during calibration of POKEGA.

4.3 市街地でのフィージビリティテスト

研究室内での測定性能は確認されたが、実フィールドでも同じように精度の高い測定ができるか否かはさらなる検証が必要となる。実フィールドでは、さまざまな環境要因が測定に影響を及ぼす可能性があるからである。

そこで、ポケガの実フィールドでの問題点やニーズを検証するため、慶應義塾大学工学部 松本教授および福島県大熊町の協力の元、2012年2月から9月の間、10回に分けて警戒区域内でのフィールドテストを行なった。本テストの目的は、高い空間線量下や自動車による移動など、福島県の実環境でのポケガの動作性の確認であり、それを警戒区域内での汚染状況調査によって検証することを目指した。

なお、テスト実施日の天候はおおむね晴れであった。協力を得た自治体職員へのヒアリングによれば、ポケガのGPSによるマッピング機能は、除染効果の確認や、一時帰宅のための安全情報提供に大いに役立つとのことであった。同町では職員が手分けをして定期的な観測ポイントへ行き、定期的に線量確認を行なっているが、ポケガを公的車両等に取り付けて測定を自動化できれば、より密な情報を収集できることが期待される。

図4-4に、本テストで用いられた放射線測定・可視化システムの概要を示す。図4-5に示すように、機材一式は自動車のダッシュボードに取り付けられた。ポケガは元々、GPSによる線量マッピング機能を有しているが、本実験においては自治体のセキュリティポリシー上、関係者のみが線量測定の結果へアクセスできる必要があった。そこで本実験では、ポケガのアプリケーションから出力される測定結果のCSVデータをGoogle Docsへ保管し、アクセス制御の元で可視化を行なうシステムを構築した。

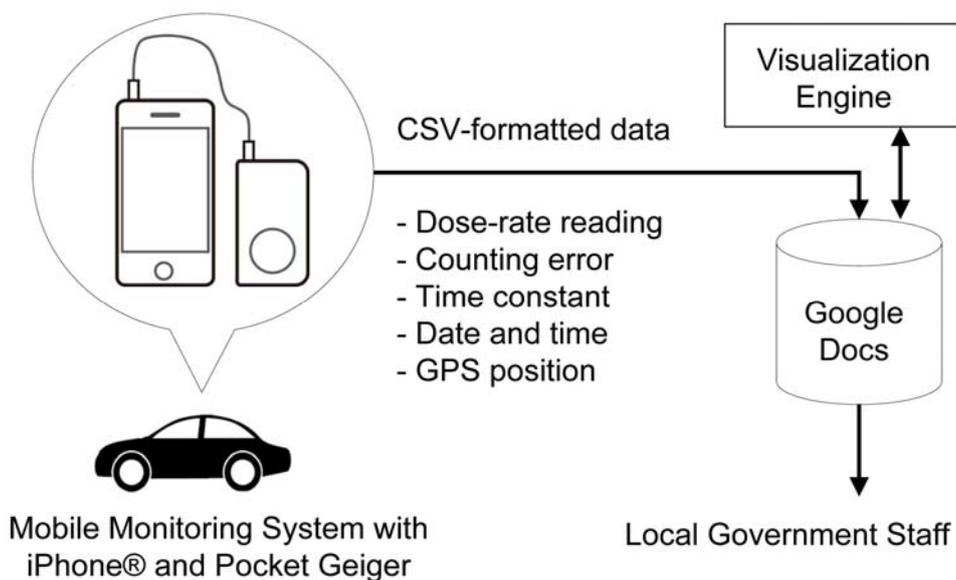


図 4-4 ポケガによる車載型モバイル放射線モニタリングシステム
 Figure 4-4 Mobile radiation monitoring system with Pocket Geiger.



図 4-5 車内からみた測定の様子（福島県飯舘村付近）
 Figure 4-5 Photo taken during mobile monitoring in the Fukushima area.

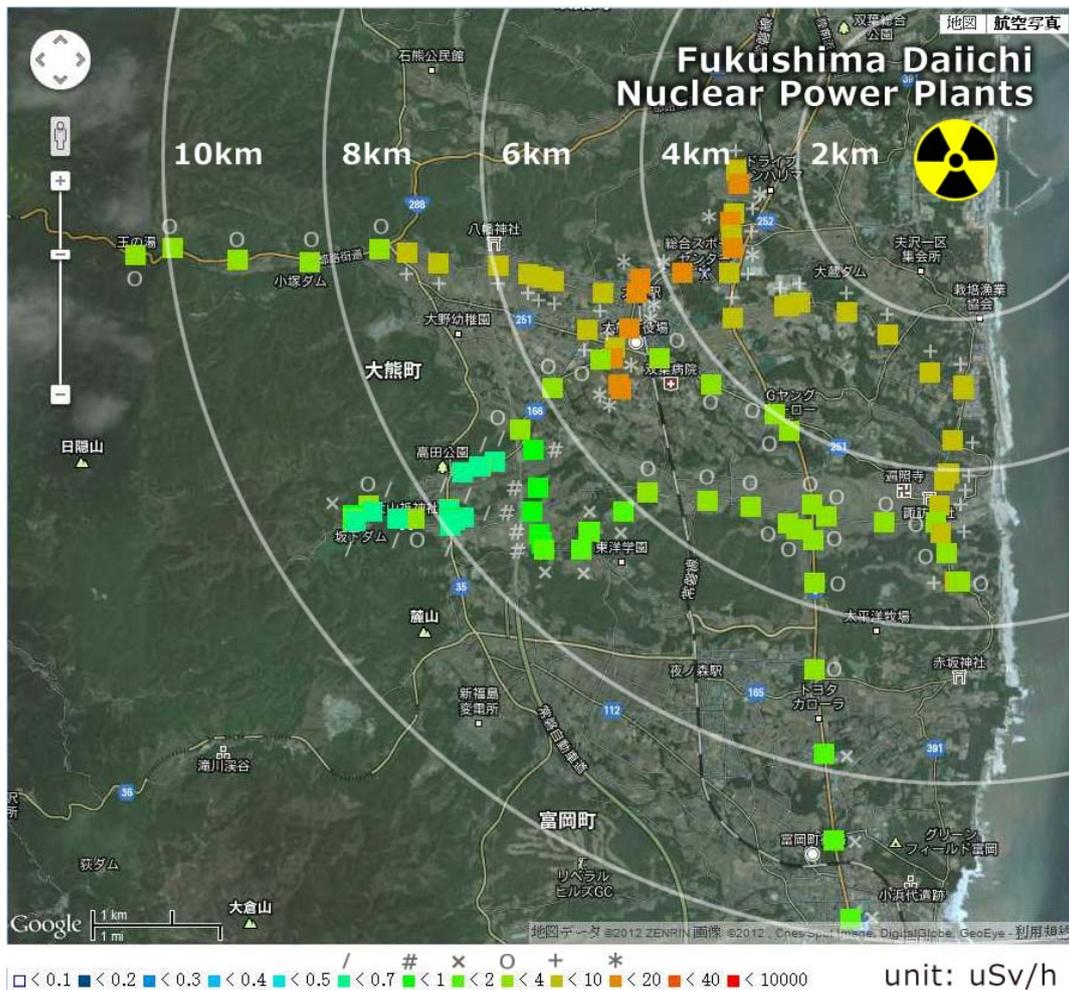


図 4-6 東京電力福島第一原子力発電所周辺の放射線量測定結果
 Figure 4-6 Visualization of radiation levels
 around Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants.

図 4-6 に、本実験により得られた福島第一原子力発電所周辺での線量分布の調査結果を示す。放射線量は原子力発電所に近づくほど高くなる傾向にあるが、同じ等高線上であっても値が異なる場合が多い。例えば 2~4km のエリアでは、放射線量は 2~20[uSv/h]となっており、北に行くほど線量が高いことがわかる。こうした線量のバラつきは、降雨・風向き・植生などの環境条件によってもたらされたものだと考えられる。

本実験を行うなかで、被災地域におけるポケガの利用に関して 2 つの問題が見つかった。1 つは振動ノイズである。多くの道路は地震の影響でデコボコになっており、まだ復旧が追いついていない。そのため時速 40~50km で走ると車内に大きな振動が起こり、ポケット

ガイガーが誤動作することがあった。このため Type3 以降のポケガにおいては、振動ノイズのキャンセル機能を備えることとなった。2 つ目の問題は、消費電力である。iPhone® 4S でポケガ Type2 または Type4 を連続使用した場合、バッテリーの持続時間は約 3 時間である。自動車には 12V の DC 電源が備え付けられている事が多いが、実験中、何度か自動車から降りて住宅街に徒歩で入りながら線量を測定する場面もあった。今後、市街地や農地・酪農地など広い場所の線量を徒歩で継続的に測定するためには、より低消費電力のポケットガイガーを開発する必要があることがわかった。

4.4 森林でのフィージビリティテスト

市街地でのテストでは振動対策と低消費電力化の課題が明らかとなったが、より広域での線量を把握するためには、一つの問題があった。ポケガユーザのほとんどは住宅地で生活しており、森林地帯の線量情報が収集されることは稀だったことである。しかし森林は日本の国土の大半を占め、生態系や水の流れの起点となることから、広域かつ長期間にわたり汚染状況を把握する必要がある。また風雨や汚れなど過酷な環境条件での信頼性を確保するためにも、屋外での動作テストが重要である。そこで東京大学農学部 溝口教授及び現地の協力者のもと、2011 年 10 月から、福島県飯舘村において、ポケガを使った定点観測を行うことができた[24-25]。実験地点は福島第一原子力発電所から約 40km に位置しており、一部は帰還困難区域(50 [mSv/year]以上)に指定された領域内に位置した。

図 4-7 に、ガーデンエリア(garden area)、森林エリア(forest area)、伐採林エリア(deforested area)の3つのエリアに設置したフィールドモニタリングシステム(以下FMS)を示す。FMS は地上 1.2m の放射線量を毎日正午に測定し、1 時間毎にカメラ画像と気象データ(温度、湿度、降水量、日照量)を記録する。これらのデータはサーバへ送られ、Web サイトで公開される。2013 年 2 月までに合計 8 台の FMS が設置され、実験が続けられている。

図 4-8 は、各エリアで測定された放射線量の推移(抜粋)を示している。1 月 20 日に雪が積もり始めたのと同時に、各エリアの線量が低下していることがわかる。これは地表付近から放射されるγ線が積雪によって散乱・減衰したためと考えられる。その後、2 月 6 日 10:00~2 月 7 日 13:00 にかけて 97mm の雨が観測されており、この頃を境に再び線量が上昇する傾向がみとめられる。これは、降雨によって雪解けが起こったためと考えられる。

一方、FMS による実験を通じて、ポケガの屋外での実運用上の問題点を発見することもできた。例えば晴天時、強い赤外線がセンサに到達し、放射線を誤検出する現象が確認されたため、後に遮光シールドを改良した。また、外気温が 30℃であっても、ポケガ内部の

温度が 40℃を超え、熱雑音によって誤動作する現象が起きたため、動作保証温度を 50℃とする設計変更を行った。



図 4-7 ガーデンエリア (左)、森林エリア (中)、伐採林エリア (右) に設置された FMS [26-27].

Figure 4-7 Sensor nodes of field monitoring system in garden area (left), forest area (center), and deforested area (right) [26-27].

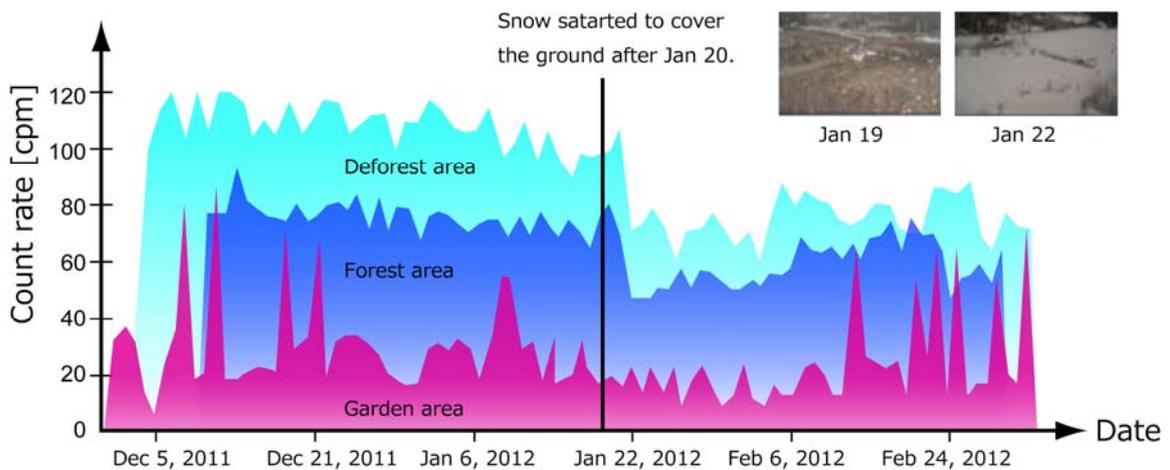


図 4-8 ガーデンエリア、森林エリア、伐採林エリアにおける放射線量の推移 [26-27]

Figure 4-8 Radiation levels on garden, forest and deforest areas [26-27].

4.5 ユーザによる評価

ポケガの精度確認や改善提案の多くは、PM を中心とした開発チームからではなく、ユーザの Facebook グループ[26]への投稿からもたらされた。2013 年 1 月現在、同グループの登録者数は、約 2000 名となっている。図 4-9 は、ユーザが投稿した 1549 件のトピック（2011 年 7 月～2012 年 7 月分）について、内容を分類したものである。以下で詳細を述べる。

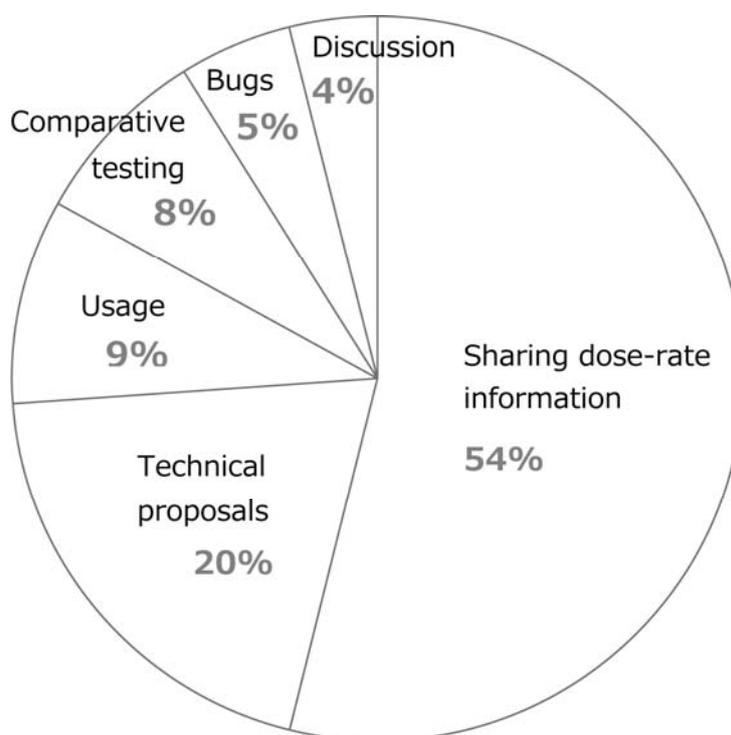


図 4-9 Facebook に投稿されたトピックの分類

Figure 4-9 Posted Topics on POKEGA's Facebook Group.

4.5.1 線量の共有と精度の確認

図 4-9 で、54%と最も高い割合を占める「線量共有(Sharing dose-rate information)」のトピックは、ユーザが自ら測定した線量データを投稿したものである。特に情報共有が目立ったものとして、福島県内の市街地、児童公園、保育園、幼稚園、除染された場所（作業前後の比較など）、農地、牧草地、業務用地、家の中、ガレージ、庭などが挙げられる。

これらの投稿の中には、線量だけでなく、位置情報、測定方法（場所・高さ・気象条件）、測定時の写真などがバインドされているものが多い。また中には、放射線防護に関する議論もみられた。図4-10にユーザから寄せられた測定レポートの例を示す。例えば図4-10(b)右は空気清浄機のエアフィルター近傍にポケガを配置し測定したところ、線量が0.36[uSv/h]と比較的高い値を示したことを発見したというレポートである。図4-10(c)左はイタリア・ローマに住むユーザが自宅での線量を測定したもので、値は0.10[uSv/h]と東京の平均線量(0.05[uSv/h])の2倍程度であることがわかった。なおこの投稿の後に、専門家より花崗岩など地質学的な影響により、ローマの線量は高めであることが解説された。図4-10(c)中は飛行中の航空機にて線量を測定したもので、2.06[uSv/h]と非常に高い値を示している。ただしこの後のコメントで、ポケガはCs-137をベースに校正されているため、宇宙線のような幅広いエネルギーのγ線・X線に対しては必ずしも正しい値を示さないことが注記されている。この他にも、除染前後での線量変化、ホットスポットの発見など、様々なレポートが寄せられた。こうした投稿には他のユーザや専門家からフォローコメントが寄せられ、高度な議論を展開していた。

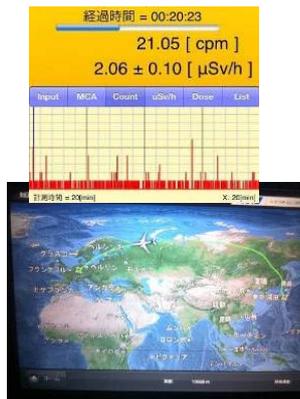
「性能比較(Comparative testing)」は、ユーザが自主的に行ったポケガの精度レポートであり、全体の8%を占め第4位に位置している。図4-11に示すように、ポケガと市販の線量計による線量の比較結果が頻繁にレポートされた。また図4-12に示すように、政府や自治体によって各地に設置されているモニタリングポストの表示値と、ポケットガイガーの測定値を比較する報告も多く見られた。ほぼ全ての場合において、ポケガと比較対象の表示値は一致しており、その精度の高さを裏付ける結果となった。またユーザの中には、ポケガの値を一致することをもって、はじめて自治体の設置したモニタリングポストの値を信頼したという人も居た。



(a) 左：児童公園(0.49uSv/h、千葉県)、右：学校の排水溝 (0.22uSv/h、埼玉県)



(b) 左：剪定した木の葉 (0.06uSv/h)、右：空気清浄機のフィルター (0.36uSv/h)



(c) 左：ローマの住宅、中：飛行中の航空機内 (2.06uSv/h)、右：Jビレッジ周辺

図 4-10 ユーザによる測定レポートの例

Figure 4-10 Measurement reports posted by users.



各種国産線量計との比較



左：米国の原子力発電所 SONGS の放射線防護担当者より、右：HORIBA 線量計との比較

図 4-11 ユーザによる他の線量計との比較レポートの例

Figure 4-11 Comparative testing with other dosimeters by users.

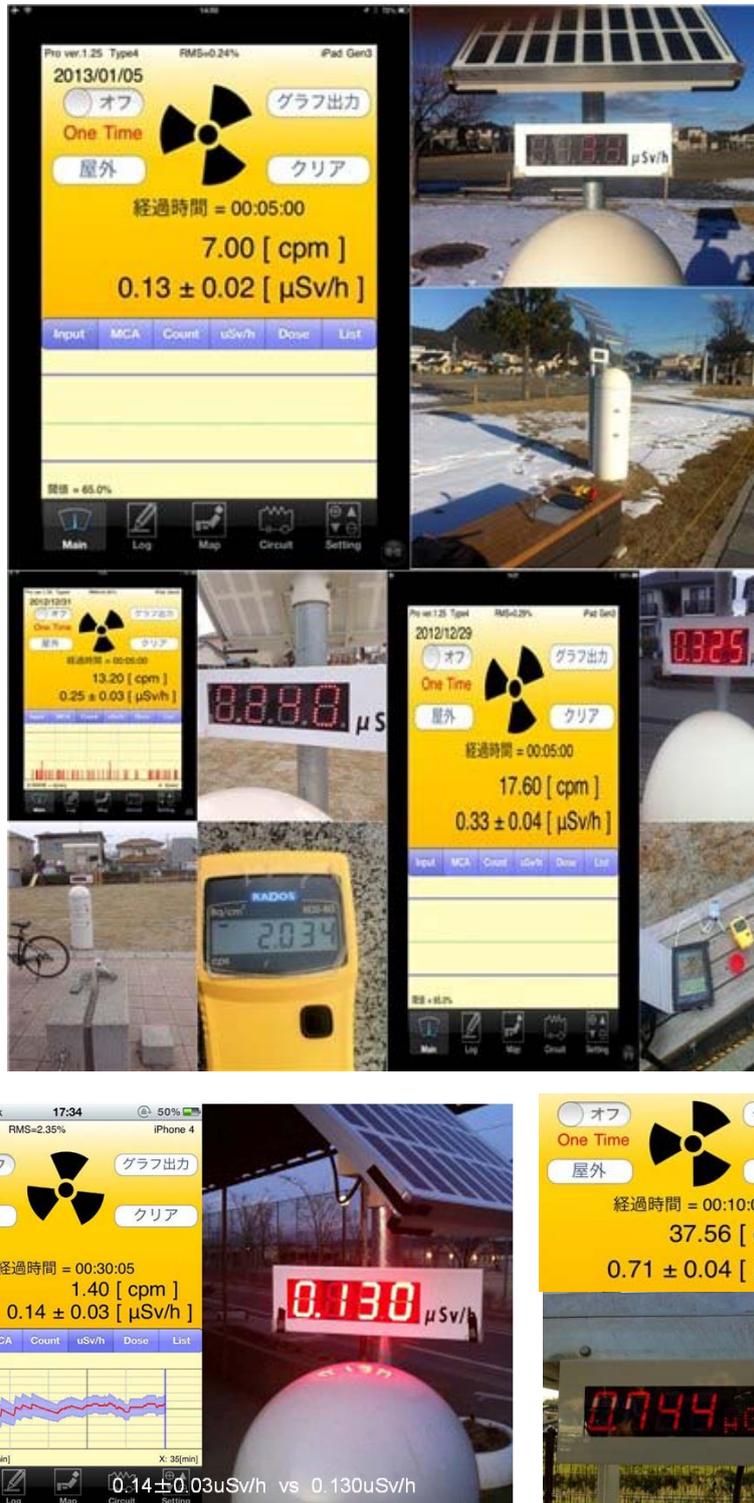


図 4-12 ユーザによる公的モニタリングポストとの比較レポートの例
 Figure 4-12 Comparative testing with official monitoring posts by users.

4.5.2 改善の提案

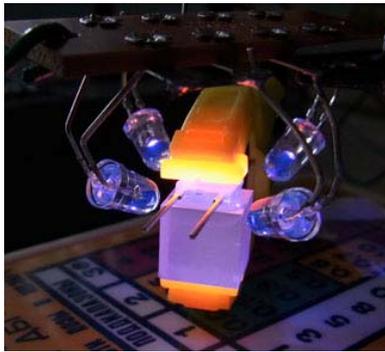
「技術提案(Technical proposals)」は全体の 20%を占め、2 番目に多いトピックである。表 4-1 に、Type1~Type5 の開発にあたり、一般ユーザ・フィールドテスト・専門家から提供されたリソースと、リリース後に寄せられた改善要望をまとめる。電源供給方法や振動ノイズ対策の提案、増幅回路やガンマ線検出効率の改善、あるいは Android®端末への対応など、高度な内容について開発協力と改善要望が寄せられていることがわかる。例えば食品放射能の分析などを目的として、ポケガのより一層の感度向上が求められた事に呼応して、有志のユーザがシンチレータを用いた高感度版の改造ポケットガイガーを試作し、その制作方法が Web に掲載されたことや(図 4-13)、Type5 の実装例として ZigBee モジュールを使ったポケガによる無線モニタリングポストの制作方法が掲載されたこともある(図 4-14)。

また回路に対して特別の知識を持たない一般ユーザも、新しい機能を持ったポケガに対して自主的に様々なテストを行った。例えば、振動試験、手近な放射性物質を使った感度試験、手持ちの Android®端末による動作レポートなどである。

表 4-1 ポケガの改善にあたり提供された要望とリソース

Table 4-1 Suggestions and resources for POKEGA developments.

提供されたリソース		寄せられた改善要望	
<ul style="list-style-type: none"> ● Kickstarter投資 ● 精度確認 ■ 被災地実地試験 ▲ 性能評価・助言 	Type 1	<ul style="list-style-type: none"> ● 電池が入手困難 ● 値を共有したい ■ 消費電力が多い ▲ グラフ表示方法 ▲ アプリのバグ 	
<ul style="list-style-type: none"> ● 精度確認 ■ 被災地実地試験 ▲ 回路提案 	Type 2	<ul style="list-style-type: none"> ● Android 対応 ■ 振動に弱い ▲ アプリのバグ 	
<ul style="list-style-type: none"> ▲ Android 適合評価 ● 振動試験 ■ 被災地実地試験 	Type 3	<ul style="list-style-type: none"> ● 測定時間の短縮 ■ 温度特性の改善 ■ 遮光特性の改善 ▲ アプリのバグ 	
<ul style="list-style-type: none"> ▲ 新センサ評価 ● 精度確認 ■ 被災地実地試験 	Type 4	<ul style="list-style-type: none"> ■ ▲ 組込マイコンへの対応 	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 被災地実地試験 ▲ 各種マイコンとの接続試験 	Type 5	<ul style="list-style-type: none"> ● 制作事例の公開 	
記号の意味 <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● ユーザー ■ フィールドテスト ▲ 専門家やエンジニア </td> </tr> </table>			<ul style="list-style-type: none"> ● ユーザー ■ フィールドテスト ▲ 専門家やエンジニア
<ul style="list-style-type: none"> ● ユーザー ■ フィールドテスト ▲ 専門家やエンジニア 			



秋月10mmCsI + 浜ホトS6775 シンチ検出器5個ハンドメイド性能評価

目的: 家内制手工業で作ったシンチ検出器ほどの程度の性能が出て、どの程度ばらつくのかの検証。

製造方法: CsIをピタガラス(紫外線硬化接着剤)でS6775につける。水道管水漏れ防止白テープ(接着面無し)を巻く。プチルゴムテープで周囲を密着巻する。

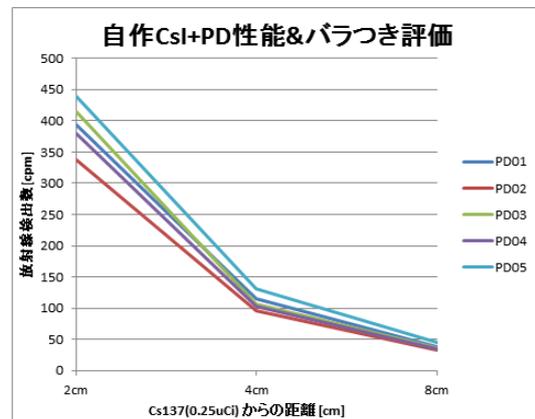
実験日時: 2012年2月29日(大雪)
16時03分～: PD01, 02 室温:14.7度 湿度:49%
22時28分～: PD03-05 室温:20.5度 湿度:36%

ポケガType1のPDを全部外してピン立てしたセンサ評価ボードを用いる。ポケガPro 1.14 で放射線カウント数を計測する。RMS1.3% 前後となるので、閾値は7%とした。

空間線量(0.060 uSv/h程度)、Cs137密封線源(0.25uCi)を2, 4, 8 [cm]の距離に置いた場合の放射線検出数(cpm)を記録。

結果:

	Cs137密封線源からの距離			空間線量
	2cm	4cm	8cm	
PD01	393.78	115.93	37.51	11.88
RMS	1.34	1.33	1.32	1.32
time	5min	5min	5min	10min
PD02	338.21	96.03	32.32	9.12
RMS	1.36	1.34	1.32	1.32
time	5min	5min	5min	5min
PD03	414.35	106.19	36.12	8.78
RMS	1.21	1.32	1.33	1.32
time	5min	5min	5min	5min
PD04	379.93	102.76	35.09	9.53
RMS	1.34	1.32	1.31	1.33
time	5min	5min	5min	5min
PD05	439.78	130.4	45.35	12.09
RMS	1.34	1.33	1.31	1.32
time	5min	5min	5min	5min



■結果 [cpm]

	Cs137距離			空間線量
	2	4	8	
PD01	393.78	115.93	37.51	11.88
PD02	338.21	96.03	32.32	9.12
PD03	414.35	106.19	36.12	8.78
PD04	379.93	102.76	35.09	9.53
PD05	439.78	130.4	45.35	12.09

図 4-13 ユーザによって投稿された高感度ポケガの制作事例 (by かにこむ青木氏[11])

Figure 4-13 Advanced manual to develop high-sensitive POKEGA by Mr.Aoki [11].

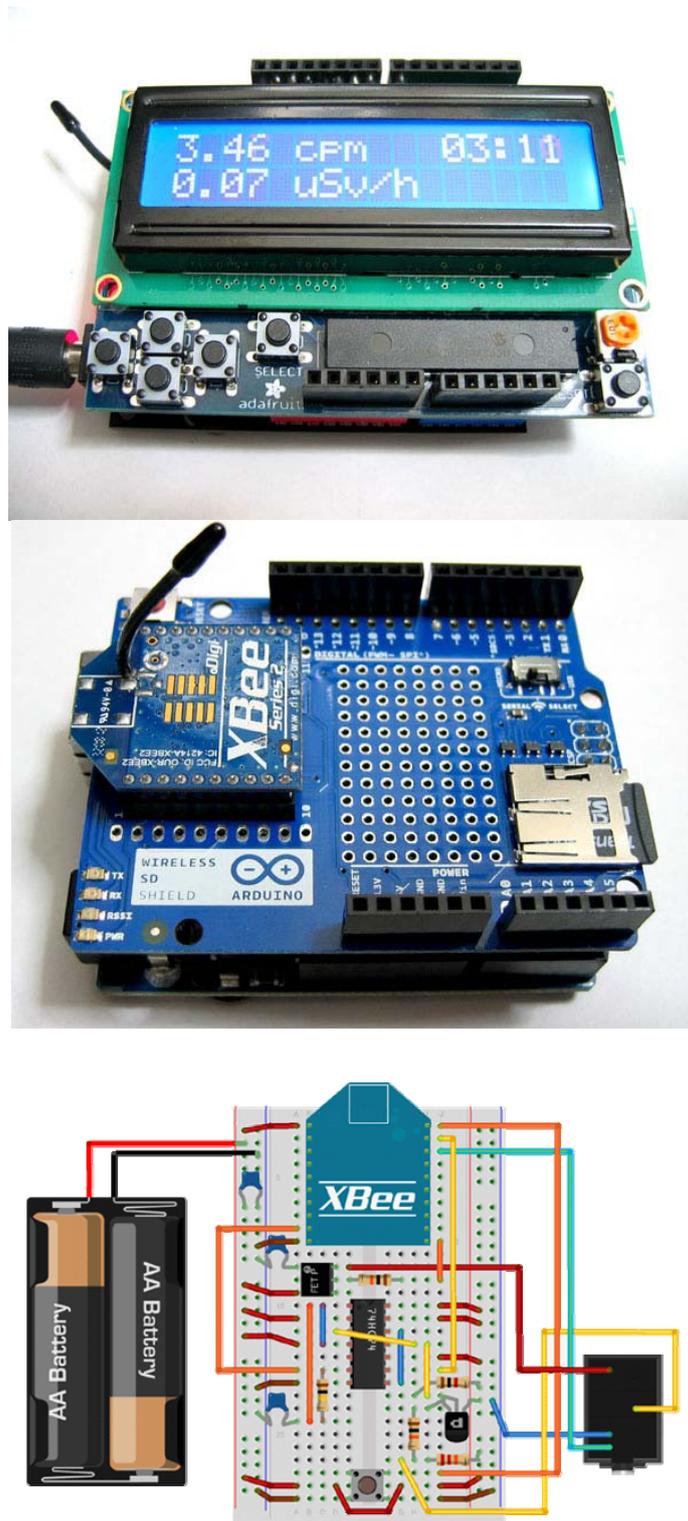


図 4-14 ユーザによって投稿された ZigBee ワイヤレスポケガの制作事例
(by ボクにもわかる地上デジタル[11])

Figure 4-14 Advanced manual to develop ZigBee POKEGA [11].

ソフトウェアに関しても提案・改善がなされた。例えば初期の画面（図 1-4）は入力信号とカウント数の推移、エネルギー分析結果(MCA)を一覧表示する開発者向けのものだったが、専門家からの提案により、後に図 2-7（Main view）に示したように、線量情報の時間的な傾向を示すグラフ表示機能がメイン画面として設定された。ポケガは一般的な線量計と比べて検出効率が低いため、十分な時間が経過しないと誤差が大きくなる傾向にある。そこで計数誤差を表示することが提案・実装され、ユーザが測定値の確からしさを確認できるようになった。また、図 2-7（Heat-map view）に示したように、ユーザによって測定・共有された線量データを、GPS の位置情報を元にマッピングする機能も提案・実装され、従来はピンポイントで共有されていた線量の地理的な傾向・分布状況を可視化できるようになった。Type1 の配布開始から 1 年後には、ユーザによる測定から 100 万地点を越える線量データが集められた。なおデータの共有はユーザの同意の元に行われ、UDID など個人を特定できる情報は収集されない。

4.5.3 サポートと議論

「使い方(Usage)」は、ポケガの一般的な使い方についての質疑応答を示し、3 番目に多いトピックである。質問に対しては、PM や技術者よりも先に別のユーザが回答することが多かった。また、専門家からのコメントも目立った。図 4-15、図 4-16 および図 4-17 は、そうしたやりとりの一例である。

図 4-15 に示す投稿者は、日本に旅行を予定しているがホットスポットを心配しているためポケットガイガーを入手しようとしており、電池の持続時間について質問をしたところである。この投稿から約 1 時間半以内に 3 名のポケガユーザから有益な回答が寄せられており、質問者は感謝のメッセージを述べていることがわかる。なお、回答者のうちの一人はオランダ国立計量局に勤務する放射線測定の専門家であり、4.2 節に示した性能評価試験を主体的に実施した方である。

図 4-16 の投稿では、カリフォルニア州に住む日系人の方が線量を共有し、この値（0.05uSv/h）について一般に高いのか低いのかという意見を求めている。これに対して国内で放射線関連の研究施設に勤めるユーザから、心配ないレベルであることがコメントされ、最後に書き込み主が安心したとコメントを残している。

図 4-17 の投稿では、岡山県のとあるビジネスホテルに泊まった際にポケガで線量を測定したところ、値が 0.13uSv/h と少々高めの数値であったことを報告するレポートとなっている。これに対して他のユーザが、福島県郡山市と同じくらいの値であることをコメント

し、確かに国内平均の中では高い部類であることが明らかになった。その後、岡山県のバックグラウンドは 0.126uSv/h であり、地質学的に元々高い場所であることが専門家によって示された。さらに、一般ユーザ（非専門家）によって、近隣地域にかつてウラン鉱が存在していたことが示され、こうした地質学的な特徴との関連性が示唆された。

この他にも、ポケガの動作原理や、操作上の注意点などを有志のユーザがまとめ、これに対して専門家がアドバイスをしながら、最終的にはデザイナーを本業とするユーザがオリジナルのユーザズマニュアル（図 4-18）を制作して公開するなど、ユーザ主導でのサポートが行われるといったシーンもあった。

以上のように、ポケガの Facebook グループにおいては、ポケガの使い方やサポートだけでなく、放射線防護に関する質の高い議論が繰り広げられてきた。しかもそれらはシステム・サービス提供者側からの一方的な情報提供ではなく、SNS に参加した一般ユーザがそれぞれの持つ専門能力を発揮させて情報提供を行うことで、相互に議論・協力をしながら皆で放射線リテラシーを高めて行くような、ボトムアップの学習の場として発展してきたといえる。

hi,
in 10 days I'll travel to Japan so I've been looking for a small and portable radiation detector, just to check for hot spots. The pocket geiger looks ideal for the task. I was going to order it, but I found it this week end so there isn't much time left. My best option would be to order it directly from within Japan. I'll stay in Kyoto for 6 days, do you think it would be feasible to order it and have it delivered to the ryokan I'll be staying?

Regarding pocket geiger type 3 (I've and android phone), since I'll be bringing a 9V battery with me I'd like to determine how much time it's going to last.

Is there any data available regarding how many milliAmpere type 3 adsorbs with normal background radiation?

Thank you for your help!

いいね! · コメントする · 投稿をフォロー · シェア · 2012年9月3日 22:08

👍 100人が表示済み

My experience with 9v battery is more than 6 months.

2012年9月3日 22:26 (携帯より) · いいね! · 👍 1

wow, thanks!

By the way, if the current is so small it should be possible to extract power from android phone's audio output via voltage multipliers such as the cockroft-walton circuit..

2012年9月3日 22:29 · いいね! · 👍 1

yup. that's how Type2 and 4 extracts power out of iPhone/iPod/iPad. Android is not supported that way, because audio output voltage differ significantly by models.

Kyoto is too low in radiation 😊

2012年9月3日 22:56 · いいね! を取り消す · 👍 2

The european iPhone has noise restricions and because of this the voltage output is not sufficiënt. Maybe this is the same with european android phones.

2012年9月3日 23:29 (携帯より) · いいね! を取り消す · 👍 2

That's probably firmware-dependent.

The strongest objection to using bare multipliers, as I get it, is the large difference in power output from model to model.. you can't rely on a stable voltage unless you hard limit the multiplier output with some...

もっと見る
2012年9月3日 23:35 · いいね! を取り消す · 👍 2

but anyways, I'm satisfied with that

2012年9月3日 23:40 · いいね! を取り消す · 👍 1



コメントする...



図 4-15 ユーザ同士のサポート事例(1)

Figure 4-15 Example for user support by other users (Part 1).

カリフォルニア州ヨセミテ公園宿泊施設のベランダにあるテーブルで測定しました。室内は0.01 μ Sv/h低い結果です。(測定はiPhone4SとType2)このぐらいは問題にならないレベルでしょうか？



いいね!を取り消す・コメントする・シェア・投稿のフォローをやめる・6月20日 15:48 (携帯より)

- あなたと [redacted] さん、他7人が「いいね!」と言っています。
- Yang Stone** 非常に低いレベルと思います。貴重なデータありがとうございます。
6月20日 22:56 · いいね!
- [redacted] 通常のバックグラウンド放射線のレベルですのでご心配なく。
6月23日 10:00 · いいね!を取り消す · 1
- [redacted] コメントありがとうございます。心配ないレベルで安心しました。旅行のときは短時間で測定出来るTYPE4がほしくなりました。
7月2日 23:45 · いいね!を取り消す · 1

図 4-16 ユーザ同士のサポート事例(2)

Figure 4-16 Example for user support by other users (Part 2).

岡山 新倉敷南口側にあるビジネスホテルにて。なんだかいつもの数値より高くなってる気が...



いいね！を取り消す・コメントする・シェア・投稿のフォローをやめる・3月25日 2:09、倉敷市付近

あなたと [redacted] さん、他4人が「いいね！」をしています。

[redacted] 福島県郡山市社宅4階のベランダと同じ位の値ですね
3月25日 16:41 · いいね！を取り消す · 2

[redacted] 佐藤様。結構高い値ということですよね.....
3月26日 2:52 (携帯より) · いいね！

[redacted] 高いですね。周りに花崗岩はありませんか？
3月26日 10:44 · いいね！

[redacted] 田中様。昭和の香りたっぷりのビジネスホテルでごく普通の和室だったのですが、花崗岩らしきものは見当たりませんでした...
3月27日 2:19 (携帯より) · いいね！

[redacted] 岡山県のB G年線量は平均1.1mSvですので、それから逆算すると、0.126μSv/hになりますから、元々高いんですね。
3月28日 11:59 · いいね！を取り消す · 3

Yang Stone 地質学的な影響なのですね、勉強になります。私も岡山に行ったら測ってみようようにします。
3月28日 15:28 · いいね！

[redacted] かつてウラン鉱を採掘していた人形峠鉱山は岡山県にあります。人形峠製レンガの表面の放射線量率の平均は約0.28μSv/hだそうです (<http://www.jaea.go.jp/04/zningyo/brick/003.html>) 。
3月29日 1:27 · いいね！

図 4-17 ユーザ同士のサポート事例(3)

Figure 4-17 Example for user support by other users (Part 3).



この線量計は、スマートフォンと接続することで、空間の放射線を測定し、情報を共有することが出来ます
 ※対応機種：iPhone 3G / 3GS / 4 / 4S、iPad / iPad 2、iPod touch (第2～4世代) ※いずれもiOS4.3以上であること

ポケガはどのように放射線を測定しているのか？

放射線＝降ってくる雨、線量計＝口の開いたペットボトル、と考えると測定の原理はわかりやすいです
 市販されている線量計での放射線量の測定は、ペットボトルで降雨量を測るようなもの。
 大雨か小雨かはわかるけど、特に小雨（＝低線量）の時の降雨量 / 分の測定値は、小雨がペットボトルに落ちるかどうかの運次第。
 だから短時間での測定では誤差が大きくなりますので、長く測ることによってより精度を上げる必要があります。

放射線が放出されるタイミングはとにかく気まぐれで不定期

受動素子もコンパクトなため、放出された放射線をキャッチできるかは不確定でバラつきが多い

※サンプル画面は計測終了時のものです (計測時間10分)

測定中は数字が変動するが、平均値をリアルタイムで算出しているから。他に比べてノイズの高い場合あり

ここだけを見れば、実際よりも低めになる

ここだけを見れば、実際よりも高めになる

同じ場所で測定していても、短い時間では誤差が大きいため、長時間測定してその平均を取ることが重要になる

放射線を補足するタイミングにはバラつきがあるので、ポケガは、何回も測定を行い、その平均値を自動的に計算します。これを長時間行うことにより、測定精度を上げることが出来ます。Pro版アプリでは、平均値が一定の値に収束していく様子をグラフ表示することが出来ます。この【測定プロセスをユーザーが見られるようにしたこと】はポケガの大きな特長の一つです。

図 4-18 ユーザによってつくられたユーザマニュアル
 Figure 4-18 Users manual created by users.

4.6 4章のまとめ

本章では、専門家・技術者・一般ユーザが互いに協力しながら、ポケガの性能評価・精度確認・改善提案を行った過程を詳細に示した。基本的な性能評価（キャリブレーション試験）については、オランダ国防省、オランダ国立計量局、デルフト工科大学のメンバーらの全面的な協力を得ることができ、性能証明書もオープンソースの形で公開することで、ポケガに対する信頼性を確かなものにする事ができた。

また実環境（屋外）での実験として、慶應義塾大学の研究者の協力により市街地でのフィールドテストを、東京大学の研究者の協力により森林でのフィールドテストを実施することができた。これらの実験より、振動ノイズやバッテリーの入手性、また温度上昇に伴う誤作動や、遮光シールドの問題など、実環境による試験からしか得られない貴重なフィードバックを得ることができ、その多くが Type2 以降のポケガでの改善事項となった。

またポケガを評価・改良する上で、一般ユーザ（一般市民）も貴重な開発リソースとなった。ポケガの Facebook グループでは、年間 1549 件のトピックが寄せられ、その大半は測定結果（線量）を共有したり、他の測定器と測定値を比較するレポートであった。PM はこれらの情報により、ポケガが日本各地において正常・正確に動作していることを確認できた。また、ポケガ Type1～Type5 というハードウェアの一連の改善やソフトウェア更新にあたり、一般ユーザから沢山の提案や、検証実験結果の提供がなされた。また、Facebook グループに寄せられた一般的な質問に対して別のユーザや専門家が意見を出し合うといった、放射線防護に関する「議論」も多く生まれたことは重要である。また、質問が多い内容については自主的にとりまとめて「ユーザマニュアル」を再作成するなど、バーチャルコミュニティの自主運営がなされるようになった。

次章では、ソーシャルメディアを通じた一般市民・専門家の研究開発への参加が、ポケガの開発プロセスやプロジェクト運用にどのように影響したのかを分析することで、参加型システム開発が有効に働いた背景を検証していく。

5. モデル化と効果の要因

5.1 5章の概要

ポケガにおける参加型の設計開発・評価改善プロセスは、一般的な商用製品の開発プロセスと比べて非常にユニークなものとなった。2章～3章では、ソーシャルメディアを通じた開発情報の積極的な公開・共有によって、国や組織・専門性の枠を超え、様々なプレイヤーが研究開発に参加する様子を示した。また4章では、専門家・技術者・一般ユーザの3グループが互いに線量情報を共有し、精度を確認しつつシステムを評価・改善させたプロセスを示した。

本章ではポケガにおける参加型システム開発のパラダイムを、専門家・技術者・一般ユーザという3つのプレイヤー間の関係性に着目してモデル化する。次に、参加型システム開発のモデルを従来の開発手法と比較することで、その特徴を明らかにする。続いて3つのプレイヤー間に着目し、時系列でみた開発フェーズごとのダイナミクスと、プレイヤー間で引き起こされたインタラクションをそれぞれ詳細に分析することにより、本モデルが開発手法として有効に機能する背後要因を明らかにする。最後に、線量の情報共有が、政府・公的機関や当事者企業が収集・分析した公的なデータとの関係性のなかでいかに信頼性を獲得し、市民におけるリスクコミュニケーションに寄与したかを分析することによって、本モデルがリスク情報の有効な運用を行なう上での有効性と、その背後にある要因を検証する。

5.2 ポケガにおける参加型システム開発のモデル化

図5-1は、一般的な役割固定型のシステム開発モデルと、ポケガをケーススタディとした参加型システム開発の違いをモデル化したものである。

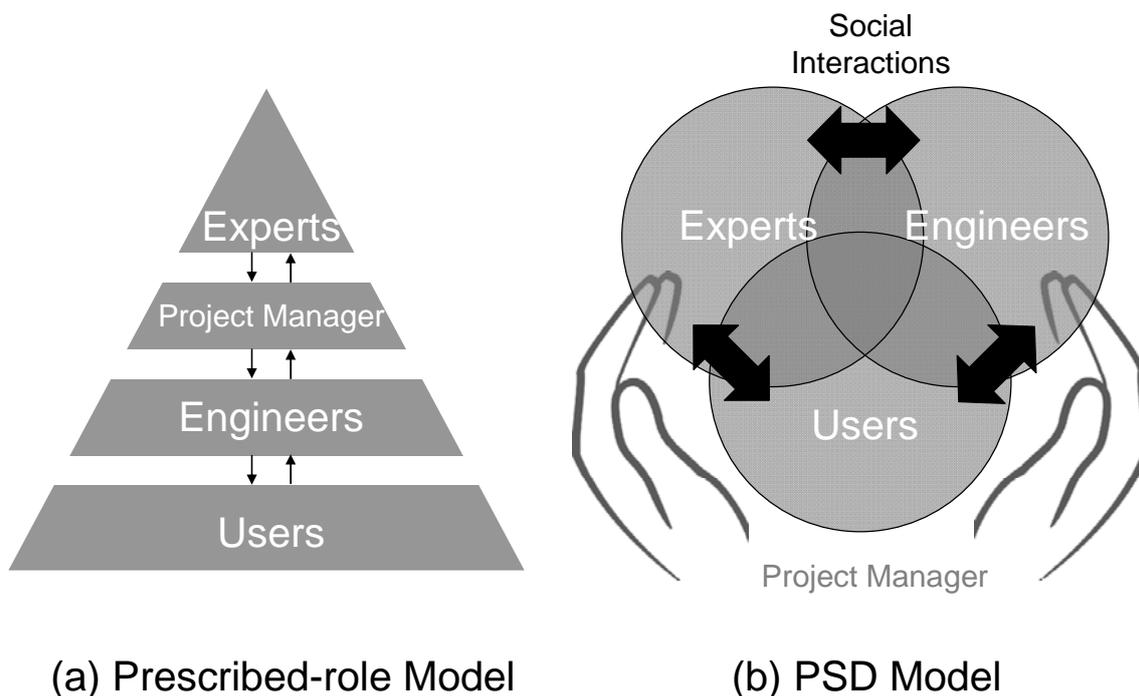


図 5-1 役割固定型と参加型によるシステム開発パラダイムの違い
 Figure 5-1 Development Paradigms on Prescribed-role and Participatory models

図 5-1 (a)は、従来の役割固定型モデル (Prescribed-role Model) を示している。ここで PM(Project Manager)はプロジェクト統括責任者を示し、技術者(Engineer)とは PM の指揮命令下で開発を実行する要員を示す。専門家(Experts)とは、製品・装置を開発する上で専門知識や設備を提供する研究者等を示し、一般的には PM と共同研究契約などを締結している。技術者は、専門家の意見を参考に商品を開発し、それをユーザ(Users)に提供する。いったん製品がリリースされると、市場からのクレームやアンケート調査結果といったフィードバックを元に、技術者において商品の評価改善が行われる。なお実際の商品開発においてはこの他にも、市場調査、生産購、買、在庫管理、営業、販売等の人員が関与するが、これらのスタッフ部門については省略する。

これに対して、ポケガでとられたのは(b)で表現される参加型システム開発モデル (Participatory System Development Model、以下 PSD モデル)」である。PSD では、役割固定型モデルのようにあらかじめ契約等によって規定された固定的な役割が定められていたわけではなく、メンバーが自発的に行動し、各々が自分の能力の生かせる範囲でプロジェクトに貢献し、その結果として図 5-1(b)に示す専門家・技術者・ユーザとして振舞

ったといえる。例えば 4.5.3 項に例示したように、本職は放射線とは全く関係の無い利用者（役割固定型モデルにおいてはユーザに分類される）であっても、ポケガのコミュニティを通じて勉強し、ユーザに対して専門的な知識を提供すれば、PSD においてその人は「専門家」としての役割を振舞ったこととなる。逆に 4.2 節に示したようなポケガの評価に貢献した専門家であっても、一人のユーザとして使い方について簡単な質問を投げかけるような場合もあり、その場合は「ユーザ」として振舞ったことになる。すなわち PSD においては、組織的・社会的属性・契約関係などに関わらず、プレイヤーの自発的な意思によって自らの役割を自主的に選択することが可能である。このように、プレイヤーの行動によって役割がボトムアップに決まる形態を、本稿では「適応的な役割」と呼ぶことにする。

ポケガにおける PSD においては、社会に存在する様々な人々が自主的に集まり、それぞれの持つ専門性やモチベーションに応じて専門家・技術者・一般ユーザといった役割を適応的に演じながら、互いに相互作用(Social Interactions)をもたらした。その中で、本稿の著者である PM(Project Manager)は、全体を指揮命令する立場には無く、参加者同士がフラットな関係性の下に協調的な設計開発・評価改善が行われるよう、調整や助言（ファシリテーション、コーディネーション、キュレーション等）を行ってきた。表 5-1 に役割固定型モデルと PSD モデルとの違いを、表 5-2 に、それぞれのモデルにおける専門家・技術者・一般ユーザといったプレイヤーの定義の違いをまとめる。

以下 5.3 節ではまず、オープンソースハードウェアやユーザ中心設計など、PSD と類似のパラダイムとの違いを考える。次に 5.4 節では、ポケガにおける PSD の開発フェーズを初期開発フェーズ、評価フェーズ、議論フェーズ、改善フェーズ、及び展開フェーズの 5 つのフェーズに分け、各フェーズで発生した関係者間のやりとりの特徴（ダイナミクス）に着目して分析を行う。これらの分析を受け、続く 5.5 節においては、図 5-1 に示したプレイヤー間の 3 つの相互作用の観点から、PSD が開発手法として有効に機能した背後にある要因を検証する。さらに 5.6 節において情報共有の観点から、データ運用面でリスク情報が有効に活用されるに至った要因と関係性を分析する。

表 5-1 役割固定型モデルと PSD モデルの比較

Table 5-1 The difference between Prescribed-role and Participatory models.

	役割固定型モデル	PSD モデル
PM の業務	<p><u>トップダウン</u></p> <p>人的リソースの割当、契約、工程管理、指揮命令など。</p>	<p><u>ボトムアップ</u></p> <p>フラットな関係性の元でのファシリテーション。</p>
参加方法	<p><u>外発的</u></p> <p>技術者や専門家は、業務委託や共同研究等によってリクルーティングされる。一般的に金銭的な対価により労働を提供する。ユーザは基本的には技術者・専門家とコミュニケーションできない（商品・サービスの購入・サポートセンター等のコンタクトポイントを除く）。</p>	<p><u>自主的</u></p> <p>プロジェクトに興味を持ったプレイヤーが自主的に参加できる。契約や金銭的対価による強制力はなく、脱退も自由。非専門家・非技術者の一般ユーザであっても技術者・専門家と交流を持つことができ、自ら学習しながら、評価改善や、そこで得た知識の還元・提供を行うことができる。</p>
役割決定方法	<p><u>固定的</u></p> <p>メンバーのスキルを考慮しながら PM によって技術者・専門家の果たす役割が固定的に割り当てられ、業務内容は契約によって明示される。</p>	<p><u>適応的</u></p> <p>専門家・技術者・ユーザといった役割が予め規定されているわけではなく、プレイヤーの振る舞い（発言や作業など、プロジェクトへの具体的な貢献の内容）によって適応的に役割が決まる。また、状況やモチベーションに応じて参加者が役割を適宜変化させても良い。</p>

表 5-2 役割固定型モデルと PSD モデルにおけるプレイヤーの定義

Table 5-2 Players on Prescribed-role and Participatory models.

	役割固定型モデル	PSD モデル
専門家	共同研究や業務委託等に基づき、何らかの対価と引き換えに専門知識を提供することにより、技術開発を支援する人。	プロジェクトに興味を持ち、自主的に専門知識や設備を提供する人。技術者のみならずユーザとも自由に議論できる。ポケガの開発においては、4.2~4.4 節で登場した共同研究者が該当。
技術者	PM の指揮命令下で開発作業を実行する人。	プロジェクトに興味を持ち、自主的に開発行為や技術的な改善提案を行う人。ポケガの開発においては、初期に PM から依頼を受けた数名のエンジニア（いずれも PM の友人）や、4.5.2 項に登場するような SNS 上で評価・改善を行った人も含む。
ユーザ	商品を購入した人。マーケティング調査、クレーム、サポートなどのコンタクトポイントを通じて販売者側と接点を持ち、クレームの中で重大なものは技術者の元へフィードバックされる。	ポケガ所有の有無に関わらず、プロジェクトに興味がある全ての人。専門家や技術者と自由に交流し、ポケガの利用や、関連技術の交換、放射線防護に関する議論を行うことができる。

5.3 他の開発パラダイムとの比較

本節では、オープンソースハードウェア、参加型デザインとユーザ中心設計、クラウドソーシングといった、PSD モデルに類似した各種開発パラダイムと比較を行うことで、参加型システム開発の特徴を明らかにする。

5.3.1 オープンソースハードウェア

近年、3D プリンターや Arduino® に代表されるように、ソフトウェアのみならずハードウェアをオープンソースにより開発するオープンソースハードウェア(OSH)の動きが活発化している[27]。ポケガでも、広く技術者が開発に参加できるよう、ソフトウェアや回路図のオープンソース化を行った。しかし OSH と PSD とでは、一般ユーザの関与の度合いという点において違いがみられる。本項では、これら OSH と PSD との共通点と違いについて考える。

Eric[28]は、オープンソースのようにフラットなファシリテーションの元に開発者が集まる分散型の開発モデルを「バザール」と定義した。OSH の開発手法と PSD は、「バザール」のスタイルにより開発を進めているという点では一致している。しかし「バザール」は、あくまでもプログラミングなど高等な技術を持つ先進的な技術者が集まるための開発モデルであり、一般ユーザによるバグレポートや改善要望などは一般的な商用製品の場合と同様、技術者による取捨選択を経てフィードバックされることとなる。このことから、OSH は「役割固定型モデル」において、技術者の所属する組織・ドメインの垣根を無くして水平に広げることで、より多くの技術者を開発に参加させ、システムの開発スピードを速めたり、バリエーションを豊富化するための手法であると捉えられる。例えば FreeBSD の開発においては、図 5-2 に示すように、一般の開発者(Developers)と、リポジトリの変更権限を有するコミッター(Committers)、及びプロジェクト全体を統括し、コミッターを開発者の中から選抜する権限を有する少数のコアチーム(Core team)による組織化が行われてきた[29]。

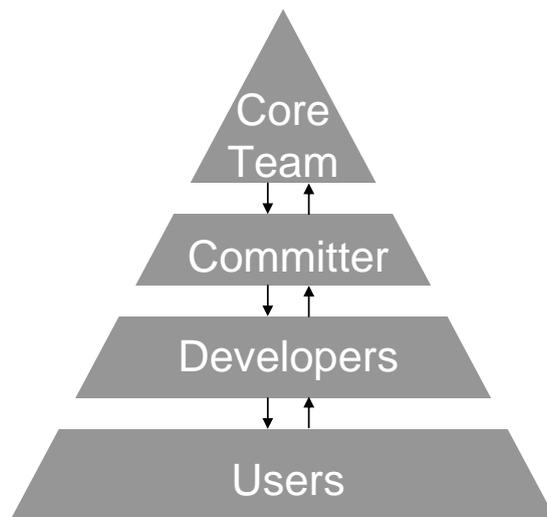


図 5-2 オープンソースの開発モデル (FreeBSD の例)
Figure 5-2 Open Source Development Model. (Free BSD)

一方、ポケガの PSD においては、4.5 節でみてきたように、線量情報の共有、コミュニティにおける議論、精度確認など、運用や信頼性確保といったシステム開発における本質的な部分が、一般ユーザの開発への積極的な「参加」と、「専門家」「技術者」との交流によってもたらされた。これを OSH による 3D プリンターの開発プロジェクトに例えるなら、一般ユーザとプラスチック材料工学やサーボモータの制御工学の専門家や研究者が相互にコミュニケーションをとりながら、システム全体の動作について議論し改善を行うような状況だといえる。このように、一般ユーザがその役割を変化させて、専門家や技術者として振舞うこと自体は OSH の思想に反するものではないが、「バザール」が直接的に意図したものであるだろう。

このように、OSS/OSH においては、一般ユーザのプロジェクトへの関与レベルが、従来の役割固定型モデルの範疇に留まっているのに対して、PSD モデルではよりシステムの根幹に関わる部分（運用面・信頼性確保）にまで参加・関与するという点において、両者は異なった特徴を持つモデルであるといえることができる。

5.3.2 参加型デザインとユーザ中心設計

参加型デザイン(PD: Participatory Design)[30-32]とは、設計者が利用者の現場に参加することで潜在ニーズを引き出し、システムの仕様に関して合意形成を行うことを目

的とした開発手法であり、組織構造の改善や街づくりの設計などで利用されている。PDの初期の適用例としては、アクションリサーチにより研究者が製造業の現場へ介入し作業や組織構造の改善を行ったノルウェー製鉄労働組合(Norwegian Iron and Metal Workers Union, NJMF)の事例[33]や、ワークプレイスの設計開発においてユーザの声を反映する事を目的にフィールドワークやプロトタイピングの手法を利用したユートピア(Utopia)プロジェクト[34]が知られている。近年では、再開発など街づくりのランドデザインにおいて、行政・住民・企業・NPOなどを集めた話し合いの場を設けることにより、関係者のニーズの吸い上げや合意形成を行うという動きもある[35-36]。また、特にソフトウェアなど対話型システムの設計においては、PDの枠組みを利用したユーザ中心設計(UCD: User Centered Design)により、ユーザの潜在ニーズ・特性・要求事項等に注意を払って設計するための手法が提唱されている[37]。

PDは、設計開発者と利用者の接点が豊富にあるという点においてPSDと類似する。しかしPDは、システム・サービスの企画設計フェーズにおいて設計者と利用者のコミュニケーションを深めることで、早期にシステム・サービスの仕様についての合意形成を得たり、新しいアイデアや潜在ニーズを引き出すことを目的としたものであり、実際の開発・評価は設計開発者(例:ゼネコン、SIer、ITベンダーなど)によって行われる。これに対してポケガのPSDモデルにおいては、設計開発から評価改善に至る全てのフェーズにおいて社会リソース(利用者・技術者・専門家)を巻き込んだ開発を行っており、また、PDのように設計者・利用者・専門家などの役割が予め定められているわけではなく、状況に応じて参加者自身が適応的にその役割を変化させながら設計開発・評価改善を行ってきた。

このように、PDとPSDでは、設計者と利用者が互いに参加し合う「範囲」と「目的」、また設計者と利用者に対する「役割」の与え方において大きな違いがある。

5.3.3 クラウドソーシング

クラウドソーシング(crowdsourcing)とは、不特定多数の人に対して業務委託のオファーを行う雇用斡旋の一形態である。一般には業務発注者と受注者の間にクラウドソーシングサイトが仲介に入り、受注者に業務斡旋が行われ、仲介手数料等を差し引いた報酬の支払いがなされる。近年では科学者・技術者への業務委託に特化したクラウドソーシングサイト(yourencore.comやinnocentive.comなど)もある。

PSDモデルは、不特定多数の開発者が協業しているという点においてクラウドソーシングと類似している。しかし、クラウドソーシングが金銭等を引き換えとした指揮命令系統

によって役割固定的に業務を管理するのに対し、PSD においては技術者や専門家の自主的な賛同の元に、適応的な開発コミュニティが創発しているという点において、両者は全く異なったモデルであるということが出来る。

5.4 開発フェーズごとのダイナミクスの検証

本節では、ポケガにおける PSD の各開発フェーズにおいて、図 5-1 に示した PM・専門家・技術者・一般ユーザという 4 つのプレイヤーがどのように開発に関与したかを考察する。図 5-3 は、初期開発フェーズ、評価フェーズ、議論フェーズ、改善フェーズ、及び展開フェーズの 5 つのフェーズごとに、プレイヤー間で発現したダイナミクスを時系列でまとめたものである。また図 5-4(a)(b)(c)は、各フェーズにおける 4 つのプレイヤー間のインタラクションの関係性を図示したものである。以下で、図 5-4(a)(b)(c)を参照しながら、それぞれのフェーズについて詳細に説明する。

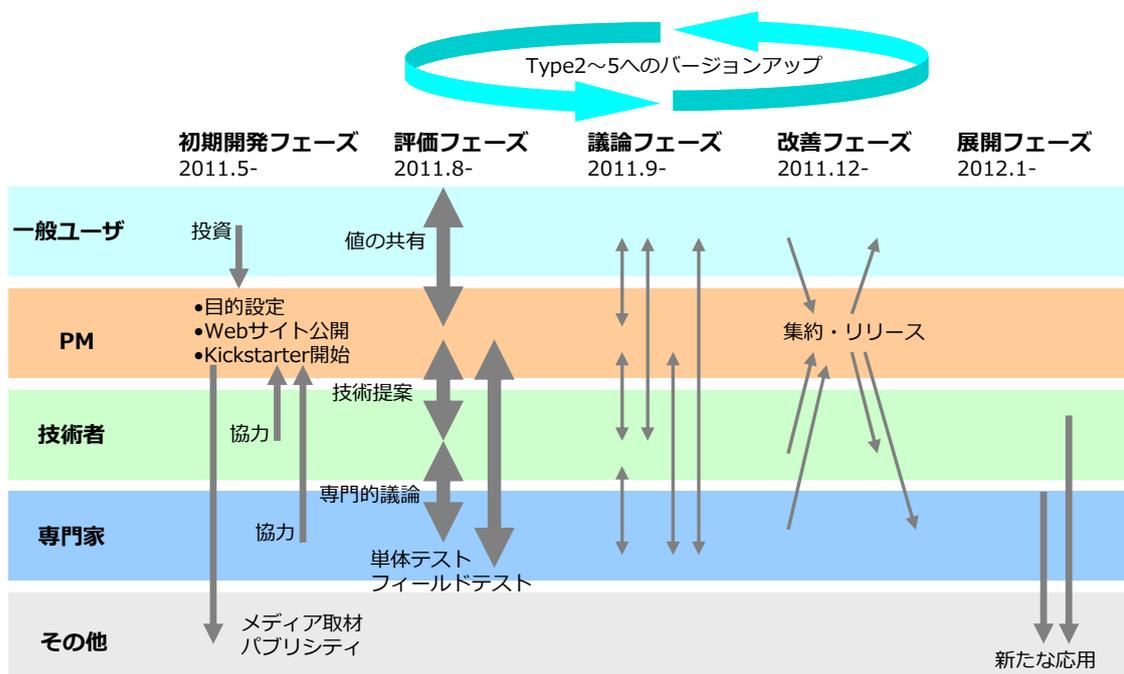


図 5-3 開発フェーズごとのプレイヤー間の関わり

Figure 5-3 Dynamics between players on development phases.

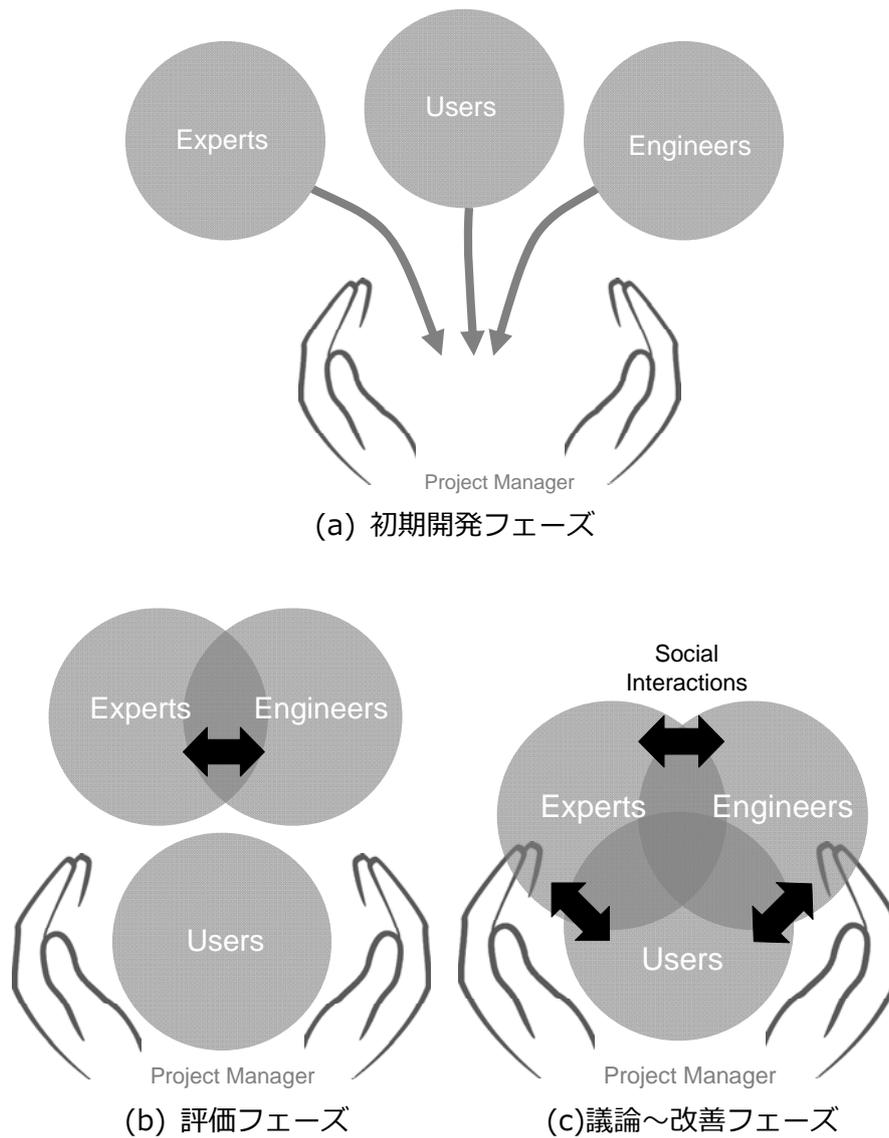


図 5-4 開発フェーズごとのインタラクションの関係性

Figure 5-4 Interaction models between players on development phases.

5.4.1 初期開発フェーズ

初期開発フェーズにおいては、Web や Kickstarter を通じた PM からの積極的な情報発信と、それに呼応する形でユーザ（投資者）・技術者・専門家からもたらされた各種協力によって、迅速な開発立ち上げを行うことができた。この背景として、ネットメディアを通じた不特定多数のユーザへの情報拡散（パブリシティ）やソーシャルプロダクトによる賛同者の広がりが見られる。本フェーズにおいて必要とされたのは、プロジェクトの背景・

目的(why/what)を的確に人々へ伝え、その問題解決のために多くの人々の力を借りることであった。

なおこの時点では、図 5-4(a)に示す通り、各プレイヤーは個別に開発プロジェクトへ参加しつつあるのみであり、プレイヤー同士の協調的なインタラクションはまだ発生していない。

5.4.2 評価フェーズ

次の評価フェーズにおいては、4.5 節に示した通り、一般ユーザにより、測定値の共有や他の線量計との比較が行われ、その結果が PM へレポートされた。また 4.2 節～4.4 節に示したように、専門家や技術者を中心としたコミュニティにより、専門設備を用いた単体評価実験や被災地でのフィールドテスト、技術的な提案などがもたらされた。これらにより PM は、開発に必要なリソースの多くをプレイヤーの主体的活動から得ることができた。

なお本フェーズにおいては、図 5-4(b)に示す通り、ユーザ同士での線量の共有や、専門家・技術者など専門知識がある者同士での意見交換は行われていたが、一般ユーザと専門家・技術者が直接的に相互交流するようなインタラクションはまだ発現していなかった。

5.4.3 議論フェーズ

議論フェーズにおいては、SNS でのコミュニケーションの内容が、これまでの性能面の評価結果や定量的な測定結果の一方向的な共有・報告に留まらず、4.5 節に示したように、放射線全般の知識や除染方法など放射線防護に関する専門的な知識に関するものや、ポケガの改造・改良といったより技術的に深い部分に言及したプレイヤー間の双方向の議論へと拡大された（図 5-4(c)）。

この過程において、Facebook の個人情報から推察して明らかに専門家・研究者ではない一般のユーザが放射線について深い知識を蓄え質疑に対する応答を行ったり、あるいは逆に専門家が一般ユーザの目線になってスマートフォンアプリの改善を提案するなど、組織社会で固定的に割り当てられた役割にとらわれない、より自主的・適応的な「役割」によって様々なスキルを持つ人々がコミュニケーションに参加した。ここでは、5.5.3 節に示したように、システムのブラックボックス化を防ぐための DIY 手法（半製品化）が有効に機能したと考えられる。

5.4.4 改善フェーズ

改善フェーズにおいては、先の議論フェーズにおいて提示された改善点や、提案された具体的な方策（回路図など）に基づいて、いったん PM が取捨選択を行い、新しいバージョン（Type2～Type5）をリリースして行った。

一般にオープンソースソフトウェア(OSS)やアジャイルソフトウェア開発、エクストリームプログラミング等で行われている開発では、短い期間で細かなバージョンをリリースし、ラフな合意形成によって小さな進化を重ねるスタイルをとることが多い。しかしながらポケガのようにアナログ回路を含むハード・ソフト一体のシステム開発においては、新しいバージョン(Type)をリリースするごとに PCB 基板のアートワーク、ノイズや温度特性など各種信頼性評価、製造工程の見直し、在庫管理など、ある程度のコストやリスクを伴った調整作業が必要となる。そのため OSS のようなラフな合意形成は行わず、PM がコスト・スピード・ニーズを総合的に判断することにより、次期バージョンの仕様とリリースタイミングを決定した。

このように、一見混沌としたコミュニケーションの場のなかから必要な要素を編集し、定期的に新しいバージョンの形で区切りをつけ、そこを基点としてまた新たな議論の展開を巻き起こすという、いわば参加型の PDCA の繰り返しにより、ポケガは着実にバージョンアップを重ねることができたと考えられる。

5.4.5 展開フェーズ

最後の展開フェーズにおいては、改善フェーズのような PM による製品リリースではなく、技術者・専門家が独自に新たな応用を見出している。例えば図 4-13 や図 4-14 に示したような、PM による公式のリリースとは無関係に、ポケガの技術を応用した試作品や製品の展開が挙げられる。PM はこれらの応用製品を積極的に Web などで紹介することで、本プロジェクトがオープンに発展可能なものであることをアピールするよう努めた。また展開フェーズが円滑に機能するよう、コミュニケーションの基盤である Facebook グループのメンテナンスを適宜実行した。これについては、5.5.4 項で詳しく述べられる。

5.5 プレイヤー間のインタラクションの検証

本節では、図 5-1(b)に示す専門家・技術者・一般ユーザというプレイヤーの間で起こった 3 つのインタラクション、そこでの問題、あるいは PM が果たすべき解決策を、5.4 節で示した初期開発フェーズ、評価フェーズ、議論フェーズ、改善フェーズ、及び展開フェー

ズの5つのフェーズに着目しながら詳細に分析し、それぞれがポケガの参加型の設計開発・評価改善にどのような影響を与えたかを考える。また、上述のインタラクションを引き起こす上でのコミュニケーション基盤となったソーシャルメディアの役割について考察する。

5.5.1 専門家(Experts)と技術者(Engineers)との間

初期開発～改善までの一連のフェーズにおいて、プロジェクトに参加した専門家は、プロジェクトの目的に共感し、対価を要求することもなく、自主的に、技術者に対して放射線計測に関する様々なアドバイスを提供した。中には、技術者と一緒に各種技術資料を共有・更新しながら回路の設計を行った者、あるいは4.1項に示した性能試験のように、高度な設備を用いた実験を申し出る者も居た。

これらのインタラクションにおいて克服すべき問題は、「プロジェクトへの興味喪失」であった。技術者や専門家（研究者）の中には飽きっぽい性格の者が居ることも想定されたため、まずは①初期開発フェーズにおいてプロジェクトに強い興味を持ってもらい、②評価フェーズ以降において上記の興味を持続させるための仕掛けが必要とされた。以下で、①②を実現するためにPMがとった方策の有効性について考察する。

①を実現するために、PMはプロジェクトの目的と社会的意義をWebページ、SNSあるいはYouTubeなど複数のメディアを通じて、日本語・英語を使って丁寧に情報発信してきた。特に、英語による情報発信により、海外から多くの専門家が参画し、グローバルな国際コミュニケーションに基づくプロジェクト運営が可能になった点は重要である。また、専門家たちの多くは、各々の有する専門知識を提供することによって、被災地の雇用維持や、人々が求めている線量計の普及に貢献できることを知り、協力を申し出たものと考えられる。この点は、大震災直後の開発であったが故の特徴であり、平穏時の開発ではプロジェクトに参加するモチベーションを如何に生み出すかは課題となる。

②を実現するために、PMは定期的の開発途中のプロトタイプや特殊仕様のモデルなど好奇心を刺激する贈り物をしたり、国内在住の協力者に対してはオフ会の開催や、あるいは共著で論文を書く事などによって、金銭に換えられない対価を贈るよう心がけた。こうした決め細やかな配慮によって、興味を持続させるための仕掛けがもたらされ、研究開発のモチベーションを継続的に維持することができると考えたからである。通常の共同開発においては専門家と技術者が同じオフィスや研究室を時間的・空間的にシェアすることが可能であろう。しかし本共同開発の実施にあたっては、旅費負担をする金銭的余裕が無かった点、参加者それぞれが別の仕事を持っており時間を共有することが難しかった点などが

ら、贈り物やオフ会など、リアルの世界でのインタラクションは互いに貴重な思い出になった。

評価フェーズに続く議論フェーズにおいては、プレイヤー間の関係性はフラットであり、基本的にプロジェクトは参加者の共感と自主性によって支えられている点に注意が必要となった。そこで PM は、各プレイヤーの参加意欲が削がれないように中立な立場を保ちつつ、設定した目標に向けた研究開発の「コーディネーション」を行なうよう心がけた。また、一般ユーザや技術者は放射線の専門家ではないため、放射線計測に関する専門知識や難解な用語を理解するために非常に時間がかかる場面が見受けられた。そこで理解が難しいと思われる論点は PM 自らが積極的に Facebook 上で質問し、その返答を皆でシェアすることでグループ全体のリテラシー向上に努めた。

従来の「役割固定型モデル」において、専門家が技術者と一緒に実験を行い、また商品開発のための知識を提供するためには、一般に共同研究・開発費や民間資金など金銭のやりとりが必要となる。あるいは科研費をはじめとする競争資金獲得による開発を目指したとしても、それには相応の時間がかかり、また、成果物の知的所有権を獲得するにも日数を要するため、緊急性を要する環境計測に直ちに対応することはできないだろう。さらに、プレイヤー間は契約によって結ばれている事が多く、その場合は受発注の主従関係が明確化されている。これに対してポケガの開発においては、専門家と技術者の共感と熱意が得られていたため、金銭のやり取りを含めた契約関係に基づく研究事業といったオーソドックスな関係性と比べて、より「**迅速な共同開発の立ち上げ**」ができた点が重要といえる。

5.5.2 専門家とユーザ(Users)との間

専門家の協力は初期開発～評価フェーズだけに留まらなかった。専門家達は、製品が世に出た後の議論フェーズにおいても、SNS を通じて、測定結果や放射線防護の一般知識まで、様々な情報をユーザに提供した。ここで解決すべき問題は、「**コミュニケーションの乖離**」であった。専門家の投稿には、専門用語や難解な言い回しが含まれており、一般の人々にとって必ずしもわかりやすいものとは言えないことが問題となったのである。そこで難解な言い回しや専門用語について PM 側から再度解説を求める質問をしたり、より平易な説明を付記した上でその内容について専門家に確認するよう努めた。ここでの注意点として、PM は単に専門家の投稿内容を補足・解説するような一方通行のコミュニケーションではなく、専門家との双方向のやりとりの経緯を書き込みの中に残すことによって、コミュニティの双方向性をアフォードし、他のユーザが書き込みをしやすい状況をつくりだすよう心

がけた。その結果、専門家の投稿に一般ユーザから「いいね！(Like!)」のフィードバックやお礼のメッセージなどが多く寄せられるようになり、投稿者である専門家自身のモチベーションアップや、それらのやりとりを見ている一般市民の放射線リテラシーの向上に寄与したと考えられる。

一方では専門家に向けて、いわゆる「既出」の質問が重複して投げかけられる事もあった。人によっては丁寧に何度でも答える場合もあるが、こういった非生産的なやりとりが続くことで専門家のモチベーションが下がることも懸念されたため、既出の質問に対しては極力、PM側から回答をするよう心がけた。また、特に多い質問に対しては同梱の説明書や、ユーザマニュアルに反映するなどの対策を行った。例えば、福島原発事故前の日本各地の標準的な放射線量について多くの問い合わせがあったため、専門家から参考文献を紹介してもらった上で、図 5-5 に示すイラストをオンラインマニュアルに添付することとした。このように、専門家と市民とのやりとりの中から、良質な FAQ が生まれる場面も多く見受けられた。

また、一般ユーザの中には、ごく一部ではあるが放射線のリスクやポケガの使用方法に関して感情的・非科学的な意見を書き込む者もいた。こうした発言内容に対しては、頭ごなしに否定するのではなく、まず相手の考えに共感したことを示した上で、あえて PM 側から専門家に対して意見を尋ねるような書き込みをして、専門家による客観的なコメントを引き出すように心がけた。もしも書き込み主が一般ユーザではなく研究者であれば、意見をぶつけあう事は通常のディスカッション行為として全く差しさわりのないが、一般ユーザの意見に対してあからさまな反対意見を述べる事は、相手のプライドをくじき、結果として心情を害した一般ユーザによる感情的・非論理的な書き込みによってコミュニティが荒れたり「炎上」する可能性があると考えたからである。Carnegie[38]によれば、明らかに誤った意見を持つ相手の思考を変えるためには、相手の考えを否定することは逆効果であり、まず相手の考えを認めたことを示した上で、的確な質問を投げかけるによって相手を考えさせ、自ら正解を導いたかのように思わせる事が最も効果的であるという。そこで PM は、基本的にどのような感情的・非科学的な意見に対しても公平に共感の意を示した上で、議論の場をつくりだすよう努力することにした。すると他の知識あるユーザや専門家から、科学的なコメントに対してはより多くの「いいね！」が寄せられ、感情的・非科学的な意見に対しては誰も「いいね！」を押さないといったインタラクションが生まれた。結果として場が荒れて炎上するような事は皆無であり、これらのインタラクションを見た当初の書き込み主は、自分の考えを受け入れて議論してくれた事に満足した上で、自らの感情的・非科学的な意見を冷静に考え直す機会を得たと期待できる。

このように、ユーザに対して一方的な知識を供与えるのではなく、一般ユーザや専門家との双方向のコミュニケーションの促進と、自主的な議論の発現により、ポケガのコミュニティは健全に発展できたといえる。後者の方法が成果をもたらすためには、「ファシリテーション (facilitation)」のテクニックが重要になると考えられる。ファシリテーションとは、コミュニティでの議論において、議論内容に対して公平な立場にたち、「発言を促す」「話の流れを整理する」「認識の一致を確認する」などの行為によって介入し、知的創造活動・合意形成・相互理解をサポートする手法・技術・行為の総称であり、ファシリテーションを行う者のことをファシリテーター(facilitator)といい、ファシリテーターには「場のデザイン」「対人関係のスキル」「構造化」「合意形成」などのスキルが必要とされる[39]。ポケガのコミュニティ運営においては、PM による適切な「ファシリテーション」によってユーザと専門家がフラットに議論できる場が作り出されたといえる。

これまで「役割固定型モデル」しか提供されてこなかった市民にとっては、自らの生活圏におけるリスク情報に関する専門家を交えた議論の場がソーシャルメディア上に提供され、その運営がファシリテートされていたことから、積極的に放射線に関して発言・質問をすることができるようになったと考えられる。これによって SNS 上には、放射線計測・防護のための市民・専門家を交えた情報が集約され、結果として「**自律的なインターネットコミュニティ形成**」がなされるという効果をもたらされた。

一方で、ポケガがリリースされた当時のマスメディア・インターネットメディアでは、いわゆる「御用学者」といった俗称を用いて、放射線に関する専門家を揶揄する声が散見された。このため、Facebook 上で見知らぬ市民と専門家がコミュニケーションする場を提供することで、専門家への批判を中心として書き込みが「炎上」し、コミュニティが荒れることで通常サポート業務に支障が出るなどといった、インターネットならではのリスクも懸念された。しかし実際に運用を開始してみると、こうした攻撃的な書き込みは一切無かった。この背景として、Facebook 自体が匿名性の低い「顔の見える」コミュニティとして定着しており、ほとんどのユーザが実名や、プライベートな写真などを公開している事が挙げられる。しかしこれが Facebook ではなく、匿名の BBS を使っていたとしたら、状況が違っていた可能性もあるだろう。

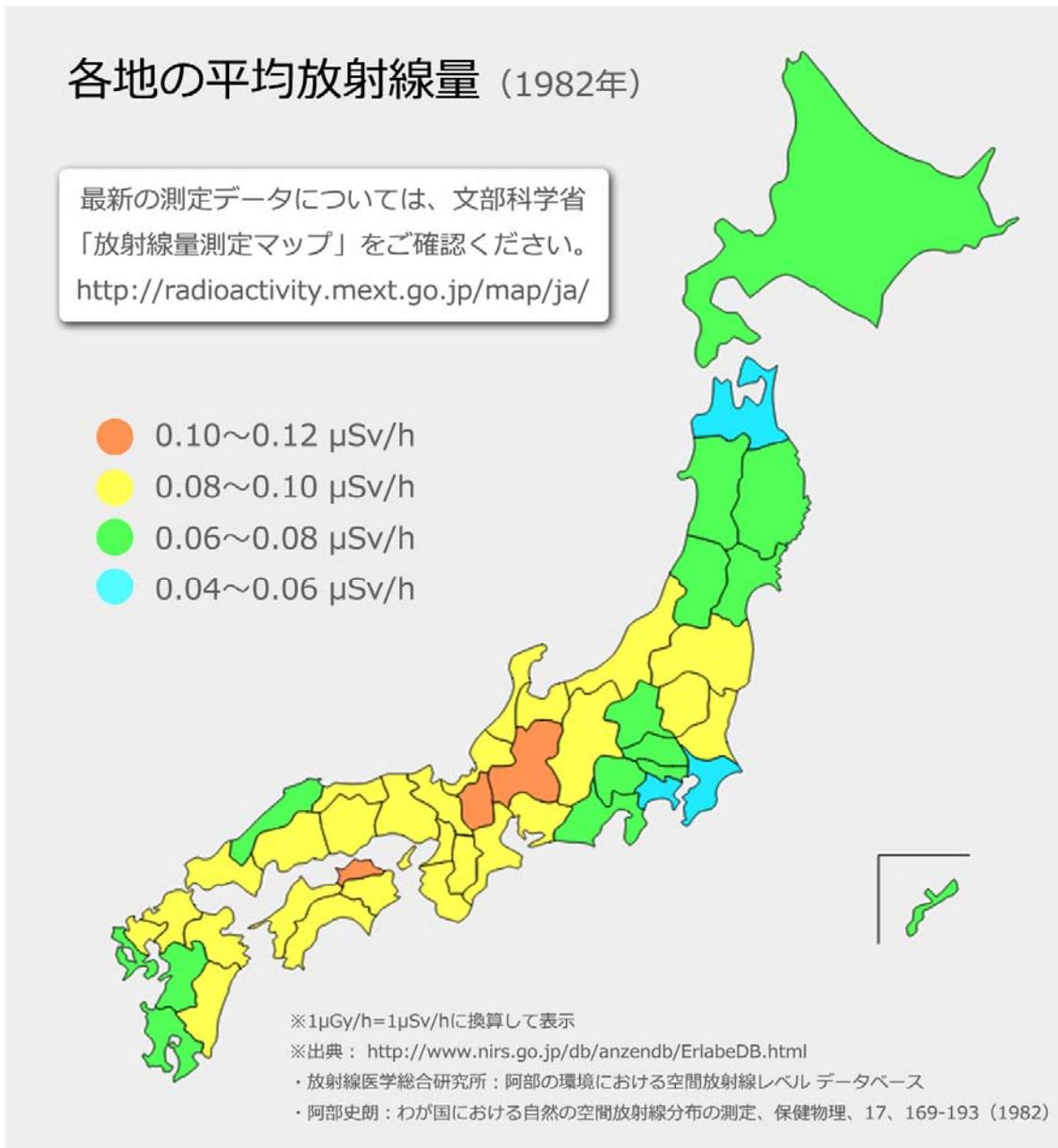


図 5-5 ユーザからの多くの質問を受けて作成された福島原発事故前の線量マップ
 Figure 5-5 Air dose rate map before Fukushima inspired from Users' questions.

5.5.3 技術者とユーザとの間

ユーザは評価フェーズにおいて、4.5 節に示したように各地のモニタリングポストとの比較試験を行い、様々な場所でポケガの精度を確認した。この協力的行為は、従来の「役割固定型モデル」では PM・技術者側が行うべき実験を、ユーザにアウトソースしたものと捉え

することもできる。また議論～改善フェーズにおいて、自主的なユーザコミュニティの形成を通じて、ユーザサポートや改善活動といったオペレーションの大半がユーザ参加型で行なわれた。

このように、ユーザによる積極的な参加型のシステム開発がなされる上で克服すべき問題として、「**製品のブラックボックス化**」が挙げられる。小林[40]は、製品の取扱説明書やサービスマニュアルの変遷をたどることで、科学技術と一般市民との間のコミュニケーションを分析している。それによれば、人々が電気製品を利用する局面で、科学技術と触れる機会が減少してきており、その背景には IC/LSI といった半導体技術の進化と、企業側の差別化戦略・模倣防止の意図があったことを指摘している。家電に真空管やトランジスタが用いられていた 1950 年代～1960 年代の取扱説明書には回路図や修理方法が秘匿されることなく詳しく描写されていた。使われていた電子部品も汎用的なものばかりであり、簡易な修理であればユーザが行っていたものと推察される。しかし 1970 年代の IC 化をきっかけとして、説明書は技術を解説するものから、単に取扱方法を説明するものへ変化した。その結果として、ユーザは新しい科学技術によってつくられた製品を使用しているにも関わらず、その技術内容はブラックボックスであるため、結果として科学技術そのものに対する本質的な興味を失なう方向にあると考えられる。

このブラックボックス化を防ぐための方策として、ポケガの PSD モデルにおいては、DIY による組み立てが有効に機能したと考えられる。DIY 方式の半製品を購入することにより、ユーザは製品組立の一部に関与せざるを得なくなる。またユーザが、自ら制作した測定器の精度に心理的な不安感を少なからず持つことは予測できる。その結果として、評価フェーズにおいて積極的に測定や比較試験を行い、それをユーザ同士で確かめ合うという相互の助け合い行動が引き起こされたと考えられる。Norton ら[41]は、ユーザは自ら手間をかけて作った製品には、より多くの思い入れを持ち、また価値を見出す傾向にあるとして、これを IKEA 効果と呼んだ。評価フェーズにおける DIY スタイルによる助け合い文化の形成や、IKEA 効果によるファン獲得が、続く議論フェーズにおけるコミュニティの自主的な活性化とポケガをより良いものに育てる「**自主的な改善活動**」につながったと考えられる。なお、ソーシャルメディア（Facebook グループ）におけるコミュニティの議論の広がりについては、5.5.4 項で詳しく分析する。

一方で、DIY に不慣れなユーザからの問い合わせ対応に翻弄される面もあった。その多くは Facebook グループ上でのユーザ間のサポートによって解決したが、中にはどうしても組立てに自信が無い、あるいは測定結果に確証が持てないとの理由で、顔を見合わせた相対（あいたい）でのサポートを求めるユーザも居た。ユーザが近隣に住んでいる場合に

は、直接出向いて組立てや利用方法を指導することもあったが、遠方の場合はなかなか希望に応えることができなかった。そこでポケガによる組立てのワークショップ（図 5-6）を各地（東北、東京、信州）で行うこととした。組立て状態に不安のあるユーザに対しては、メールで写真を送りあうことで診断をしたり、あるいは実物を送ってもらいこちらで出来上がりの確認をすることもあった。また、どうしても測定値に不安のあるユーザのために、ポケガ以外の線量計（エステー社エアカウンター、エアカウンター-S 及び日立アロカ TCS シリーズ）を複数準備し、線量値を確認する目的で無償で貸し出すサービスを行うこととした。これによって、値に不安のあるユーザは複数の線量計を組み合わせて値を比較することができるようになった。このように、ソーシャルメディアのサポートだけでは全てのユーザを満足させることはできず、最終的には相対や物理的メディアを介したコミュニケーションも重要であることがわかった。



図 5-6 ポケガの組立・放射線測定ワークショップの様子（子供・学生向け）

Figure 5-5 POKEGA workshops for children and young students.

5.5.4 ソーシャルメディア

ここまで、図 5-1(b)に示した専門家・技術者・一般ユーザ間の3つのインタラクションを挙げ、それらによって「迅速な共同開発の立ち上げ(Rapid Research Collaboration)」「自律的なインターネットコミュニティ形成(Autonomous Community Forming)」「自主的な改善活動(Voluntary Kaizen Actions)」といった、PSDによる開発プロジェクト運営にとって有益な現象が引き起こされてきた背後要因を分析した。これらの関係性を図 5-7にまとめる。

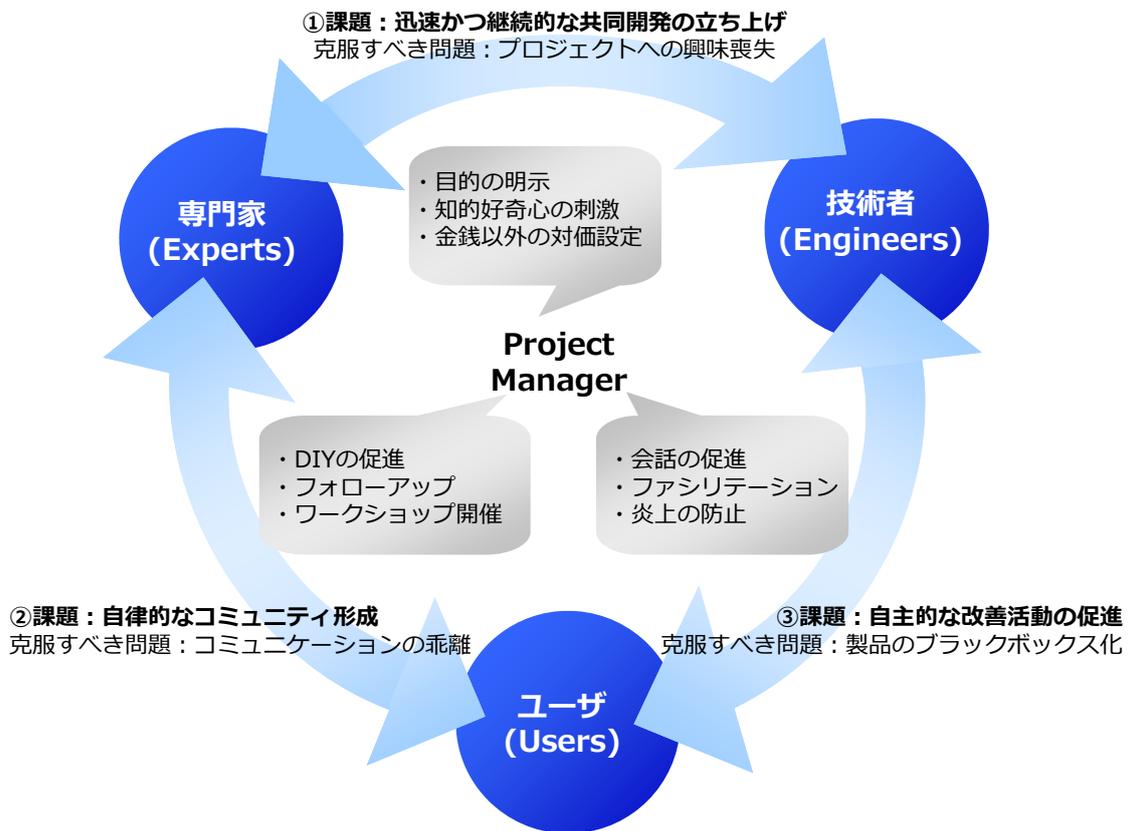


図 5-7 PSD モデルにおけるソーシャルインタラクション

Figure 5-7 Social Interactions on PSD model.

これら3つの効果を引き起こしたインタラクションのほぼ全ては、Facebook グループ上の議論の上で引き起こされてきたものである。ソーシャルメディアの管理運営において問題となるのは、「**コミュニティの混濁(contamination)**」である。すなわち、参加の目的、放射線リテラシー、技術スキル、言語などについて、様々なレベルのスレッドが乱立することで、ユーザが目的の情報に辿り着けない、あるいは自分とは関係の無いコミュニティだと感じて書き込みを躊躇してしまうことが懸念された。本項では、本稿執筆時点で6種類あるポケガ関連の Facebook グループの系譜（図 5-8）を元に、コミュニティの混濁を避けるため、それぞれのグループがどのような経緯で設立され、また運用されてきたかをまとめ、これらがユーザ間のインタラクションに及ぼした影響を考える。

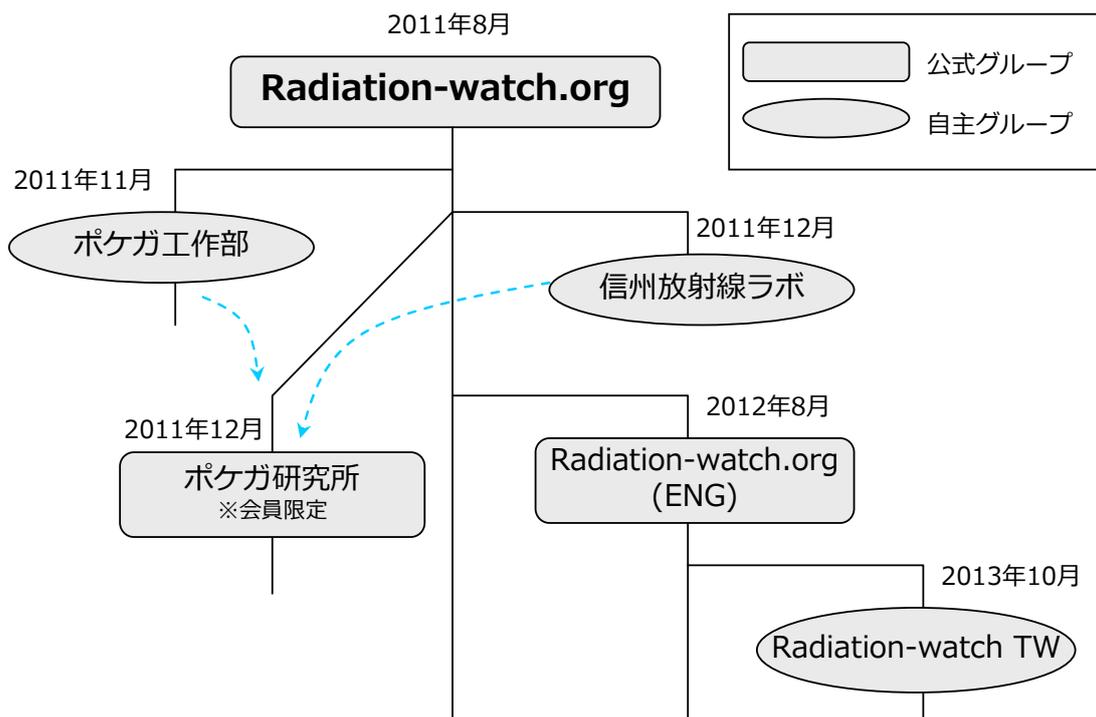


図 5-8 ポケガに関連した Facebook グループの系譜
Figure 5-8 History of POKEGA related Facebook groups.

当初、Facebook グループは、2011 年 8 月に設立された「Radiation-watch.org」（以下、本家グループ）の 1 つのみであった。その後、ポケガの改造や様々な技術検証を目的とするグループの投稿が多くなり、必ずしも全ての内容が一般ユーザと共有すべきものではなくてきた。こうした状況を察して、ポケガのファンたちによって新たなグループ「ポケガ工作部」が設立され、自ら投稿ルールを策定するなど自律的な運営が図られた。さらに、リリース前の次世代ポケガのテスト配布・検証に関する情報など、一般に公開しにくい内容については専用のグループ「ポケガ研究所」を作成、メンバー限定で議論が行えるように配慮した。このメンバーは当初、上記「ポケガ工作部」の中から技術・専門性などの他、コミュニケーションスキルが高いと思われるユーザを選定した。その後、こうしたコアメンバーを中心に、新たにメンバーとして迎え入れるのにふさわしい人物を皆で議論して、適宜追加していった。一般のプロジェクトマネジメントにおいては、参加メンバーの選定は PM が一方的に行うことが多いが、ポケガのプロジェクトにおいてそのような中央集権的な行為を行ってしまえば、これまで参加者が培ってきた自主性や一体感が薄れてしまうように思えたためである。

また、ポケガの配布開始から 3 ヶ月後にはポケガの販売代理やワークショップ運営、サポート等を行う会社が突然現れた。この会社は当初、PM 側には何の連絡もなくポケガを購入・再販売していた。そのこと自体は特に法律に触れる行為ではないが、Facebook の中では道義に反するというようなコメントが寄せられることもあった。そこで PM 側からその会社の代表者へコンタクトを取り、ポケガを再販するに至った考えや将来ビジョンをヒアリングしたところ、農家やものづくり産業の多い地元地域で食品の放射能測定を行う市民測定所を立ち上げる予定であり、そうしたソーシャルビジネスの一環としてポケガの販売や改造販売、あるいは市民への普及啓蒙を行いたいとの趣旨であることがわかった。そこで早速、この会社をポケガプロジェクト発の「正規代理店」としてプロジェクト Web で発表し、相互にリンクを貼ることとした。その後ほどなく、「正規代理店」が独自に運営する Facebook グループ「信州放射線ラボ」が設立された。「本家グループ」、「ポケガ工作部」、および「信州放射線ラボ」は Facebook 上でも相互にリンクを張り、互いにユーザを適切な場所へ誘導し合う工夫を行った。なおその後、「信州放射線ラボ」からはオリジナルの Type4 を改造し、センサの数を 2 枚に増やした高性能ポケガがリリースされるなど、オリジナリティの高い商品開発がなされることとなった。

ポケガ発売から 1 年後には海外への出荷がはじまり、それに伴って英語での問い合わせが増えた。当初は日本語と英語が入り混じった形で議論を行っていたが、Facebook の表示が見にくくなりユーザビリティが悪化してきた事と、偶然に直近の書き込みが英語ばかり

(あるいは日本語ばかり) となっている時に、ユーザが日本語で (あるいは英語で) 書き込みをするのを躊躇してしまう事を防ぐため、英語専用のコミュニティである「Radiation-watch.org (ENG)」を開設した。続いて 2013 年 10 月には、この英語専用コミュニティを発端として、台湾語 (中国語) によるコミュニティが台湾在住のボランティアユーザによって開設された。表 5-3 に、これらの Facebook コミュニティの役割をまとめる。このように、ポケガ運営をサポートするソーシャルメディアは、当初は 1 種類だけだったが、プロジェクトが拡大し、ユーザのバリエーションとニーズが広がるのに応じて自律的に拡張・再編され、公式グループに加えて自主管理による準公式のグループ化がなされてきた。また、先進的な開発に特化したメンバーをリクルーティングしたり、代理店など特定の権限をメンバーに与えることで新しい目標設定がなされた。これは、昨今のマーケティング手法の 1 つである「キュレーション(curation)」を参考とした方策である。キュレーションとは、大多数 (マジョリティ) ではないが共通の情報を求める限定的な集団 (ビオトープ) に対して、情報ネットワークによる相互のコミュニケーション (つながり) や特別なコンテンツを提供することで、ファンの価値観や嗜好性を共有・増幅する手法であり、これまでのように広く共通の価値観に支えられた「モノ」の大量消費の時代が過ぎ去った現在、新しい「情報のつながり」による経済価値の創造として注目されつつある[42]。こうした積極的な「キュレーション」活動によって、「専門家」「技術者」「一般ユーザ」といったプレイヤー間のインタラクション、すなわち価値観・趣向性に合った情報のやりとりが円滑化し、バーチャルコミュニティにおいて新しい価値が生まれることとなったと考えられる。

表 5-3 ポケガに関連する Facebook グループの一覧

Table 5-3 Facebook groups regarding POKEGA.

グループ名	設立時期	目的	アクセス 制御	管理形態
Radiation- watch.org	2011 年 8 月	ポケットガイガ ーのサポート、 議論全般	オープン アクセス	Radiation-watch.org プロジェクトによる
ポケガ工作部	2011 年 11 月	ポケガの技術的 改善、改造	オープン アクセス	ポケガユーザによる 自主運営
信州放射線ラボ	2011 年 12 月	代理店を通じて 購入したポケガ のサポート、ワー クショップの案 内など	オープン アクセス	ポケガ販売運営代理 店による
ポケガ研究所	2011 年 12 月	次世代ポケット ガイガーの研究 開発	メンバー 限定	Radiation-watch.org プロジェクトによる
Radiation- watch.org(ENG)	2012 年 8 月	英語によるサポ ート	オープン アクセス	Radiation-watch.org プロジェクトによる
全民監測輻射 Radiation- Watch TW	2013 年 10 月	台湾語（繁体中国 語）によるサポー ト	オープン アクセス	ポケガユーザによる 自主管理

5.6 データの信頼性獲得に関する検証

本節では、図 5-1(b)に示したポケガによる線量情報の共有（Data Sharing）により、政府・公的機関や当事者企業が収集・分析した公的なデータとの関係性のなかでどのようにそれが信頼性を獲得し、一般ユーザにおけるリスクコミュニケーションに寄与したかを検証する。

一般に、放射線量をはじめとするリスク情報は、政府・公的機関や当事者企業が収集・分析した「公的レイヤ(Official layer)」によるものと、市民レベルで集められた「市民レイヤ(Citizen layer)」によるものに分類できる。これらの情報が、「非公開(Closed access)」の状態から「公開(Open access)」となるまでの過程を図 5-9 に示す。本節では、ポケットガイガーによる線量データが従来とは異なるデータの信頼性を獲得するプロセスを、図 5-9 ①②③④⑤に示した状態・遷移を元に比較分析する。

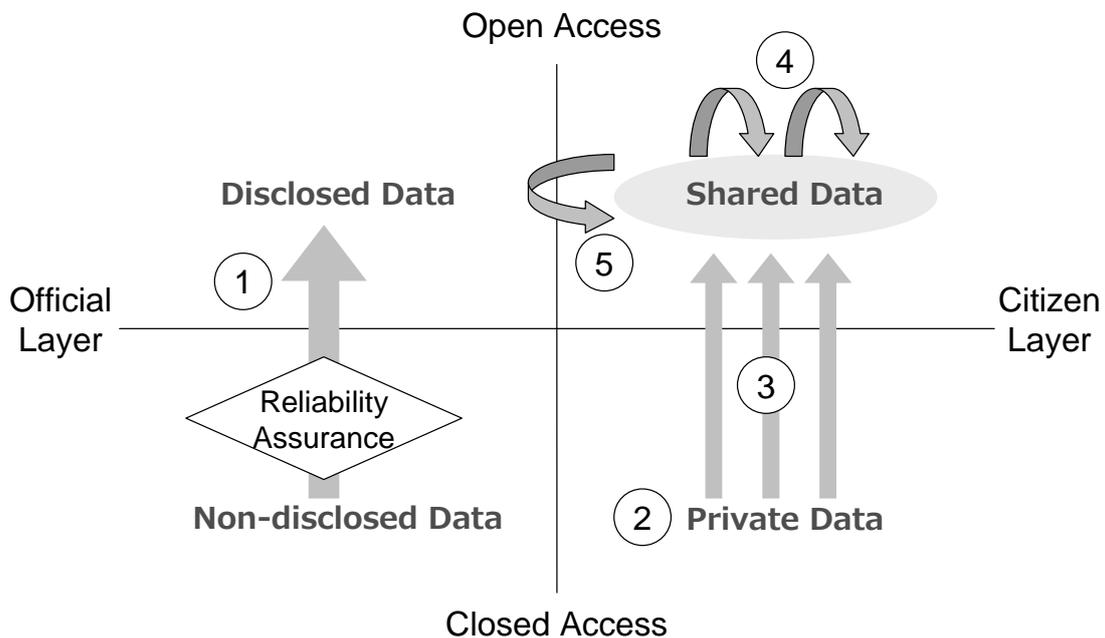


図 5-9 公的機関や個人が持つリスク情報の公開過程

Figure 5-9 Dynamics of classification for risk information.

5.6.1 公的レイヤ(Official layer)におけるデータ公開

本項では、図 5-9 ①の状態遷移について分析する。本研究の冒頭に述べたように、福島原発事故後の政府の情報公開は迅速とはいえなかった。文部科学省が「放射線モニタリング情報」を開設したのは事故から5ヶ月経ってからであり、さらに3ヶ月後の2011年11月より福島県内へのリアルタイム線量測定システムの設置を開始、延べ2,700台のモニタリングポストを設置したのは翌年2月になってからだった[8]。ポケガが2011年5月より開発を開始し、3ヶ月後の8月にはType1をリリース、2011年12月までに1.5万人のユーザに配布して線量情報が共有されていたことは、対照的である。

公開までに時間を有する最大の理由は、文部科学省や政府の「公開データ(Disclosed data)」が発表されるために、データの「信頼性確認(Reliability assurance)」という事前のアセスメントプロセスに相応の時間がつぎ込まれたことにあると考えられる(図 5-9 ①)。実際、政府は事故後すぐには SPEEDI の試算結果を公開せず、2週間後に一部を、さらに2ヶ月後に全内容を公開したが、この背景には、政府の権限者に、値が絶対値ではないことや不確実性があることについて、社会に正しく伝えるスキルが無かった点が挙げられている[9]。このようにリスク情報には誤差や不確実性があるため、不適切な形で利用することで逆に社会不安を招く恐れもあり、十分なリスクアセスメントが必要とされる。しかし水害など過去の事例をみても、「公的レイヤ」における情報伝達の判断タイミングの遅れが被害を大きくした事例は後をたたない。災害情報に基づく的確な危険回避行動に導くためには、避難の必要性を市民自ら判断するための状況情報を、専門家との相互のコミュニケーションを保ちながら、早期に提供する仕組みが必要とされる[2]。

5.6.2 市民レイヤ(Citizen layer)におけるデータ公開と公的レイヤとの関係

本項では、図 5-9 ②の状態及び、③④⑤の状態遷移について順に分析する。市民が自主的に線量を測定した「私的データ(Private data)」は、一般には素人が測定した信頼性の低いデータとして取り扱われることが多い。しかしポケガの開発においては、実用上十分な精度を有する測定器を安価かつ早期に配布することで、一般市民に対して「**環境計測を行うための安価・簡易な科学的手段**」(図 5-9 ①に示す状態)を提供できた点が重要である。

また、測定データをスマートフォンのアプリケーションやソーシャルメディアを通じて共有することで、自分の測定した値と、近隣住民や他地点の値とを比較・検討するという、線量計の新しい使い方を提供することも可能となった(図 5-9 ③)。さらに、4.5.1 項に示した「線量の共有と精度の確認」の事例にあったように、ポケガの測定結果と他社の高性能なシンチレーション式線量計の値とを相互比較することによって「**データの自主的な検**

証(Self-validation)」を行ない、その結果を皆で共有することでポケガの精度を確かめ合うという、新しいソーシャルな精度検証のスタイルを生み出すことができた(図 5-9④)。

データの自主的な検証における比較は、政府の設置した公的なモニタリングポストの表示値(公開データ)との間でも行なわれた(図 5-9⑤)。ユーザによっては、これまで不信感を持っていた政府設置のモニタリングポストの表示値の値がポケガと同じであることから、逆にモニタリングポストを信用するようになったという者もあり、ポケガの信頼性確認だけでなく、市民の政府への不信感払拭にも貢献できた面もある。

このように、事故・災害に応じて迅速に「共有データ」を公開し、市民間で活用することができれば、政府による情報公開の遅れを補完する、新しい情報共有モデルの構築が期待できる。さらに、「共有データ」と「公開データ」を比較することで、政府と市民それぞれによる環境測定結果を「**相互チェック(Cross-checking)**」すれば、放射線量をはじめとするリスク情報に対する互いの過信・不振を減らすことにも貢献できると考えられる。

一方、ポケガの運用においては、「共有データ」に関して専門家・技術者を巻き込んだ議論を通して、ユーザが放射線に関する正しい理解やデータの解釈ができるようになる、「**ソーシャルメディアによる新しい形のリスクコミュニケーション**」を示した点も重要である。例えば製品安全の領域においては、当事者企業からの事故情報の届け出から、公的機関を仲介役とした情報公開までの間で、判断基準の曖昧さや調査時間が問題となっており、行政・製造企業だけでなく、ユーザも含めた三者間での相互の情報共有の元にリスクコミュニケーションを図ることが求められている[43]。ポケガにおける「専門家」「技術者」「一般ユーザ」が一体となったバーチャルコミュニティの運用モデルは今後、放射線計測だけに限らず、製品安全や広域環境監視など様々な分野への応用が期待される。

5.7 5章のまとめ

本章ではポケガにおける参加型システム開発における設計開発・評価改善パラダイムを PSD としてモデル化、類似のモデルと比較しながらその特徴を明らかにした。また、5.2 節～5.3 節において専門家・技術者・一般ユーザという 3 つのプレイヤー間で引き起こされたダイナミクスについて開発フェーズごとにまとめ、そこでのダイナミクスとインタラクションの詳細を分析した。専門家と技術者の間からは、プロジェクトの目標への共感意識と、ソーシャルメディアを通じたオープンな議論を通じた信頼関係によって、「迅速な共同開発」の立ち上がりが起こり、結果としてポケガの短納期での開発成果がもたらされたといえる。次に専門家とユーザの間では、役割固定型モデルにおいては直接コミュニケーション

ョンがとられる事は無いが、PSD モデルにおいては線量の考え方や放射線計測に関して積極的な議論が巻き起こることで「自主的なインターネットコミュニティが形成」され、結果として市民（ポケガユーザ）の放射線リテラシー向上がもたらされた。最後に技術者とユーザの間でも、比較実験や精度確認など、どちらが技術者か区別できないほど緊密なコミュニケーションがやりとりされ、ポケガをより良いものに育てるという「自主的な改善活動」が営まれた。これら一連のインタラクションの背景には、状況に応じて作成された複数の Facebook グループによる、きめ細やかなコミュニケーションチャンネルの運営があった。以上より、PSD は開発プロジェクトの運営において有益な結果をもたらしており、開発手法としての有効性が確認された。

続いて 5.6 節では、ポケガの PSD モデルにおけるリスク情報の共有が、政府・公的機関や当事者企業が収集・分析した公的なデータとの関係性のなかでどのように信頼性を獲得したかを検証するため、公的機関・個人が持つリスク情報の公開過程をモデル化した。福島原発事故後の政府による情報公開が遅れる中、ポケガは市民に対して、「環境計測を行う為の安価・簡易な科学的手段」を早期に提供することができたばかりでなく、「共有データ」との比較によって「データの自主的な検証」を行なう手立てを提供した。また、高性能な機器を使っている自治体のモニタリングポストとポケガの測定値を比較するという「相互チェック」により、ポケガの測定精度についての信頼性も徐々に獲得されることとなった。一方で、客観的データを元に、専門家を巻き込んだソーシャルメディア上での議論を通じて、市民の放射線リテラシーを向上させ、現実的なリスクについて議論する場を提供するという、「新しいリスクコミュニケーションの形」を提示することもできた。以上よりポケガの PSD モデルにおけるリスク情報の共有は、データの運用面でも有益な結果をもたらすことが確認できた。

6. 今後の展開

6.1 6章の概要

5章では迅速かつ正確に環境監視を行なうための参加型システム開発のモデルを PSD として提案、ポケガの開発をケーススタディとして、その有効性を検証してきた。本章では、ポケガ自体の現状の問題点と今後の展開及び、放射線計測以外の目的で PSD モデルを適用する際の課題について議論する。

6.2 問題と今後の展開

ポケガの開発においては、ソーシャルメディアでの議論によって様々な問題が解決され、Type1~5 までのバージョンアップを繰り返してきた。しかし、「消費電力」と「農地・森林での広域監視」に関する技術課題はまだ解決されておらず、今後の展開が期待される。以下で詳細に述べる。

6.2.1 消費電力

4.3 節で示した通り、iPhone® 4S でポケガ Type2 または Type4 を iPhone4S と接続して連続使用した場合、スマートフォンのバッテリー持続時間は約 3 時間である。住宅街などのエリアの広範囲線量をポケガを使って広範囲に収集するためには、消費電力を低減させ、よりバッテリーの持続時間を長くする必要があるだろう。また組込向けの Type5 の消費電力は 30mW 程度であり、これも照度センサなど一般的なセンサと比べて消費電力が小さいとはいいがたい。今後は、さらなる回路パラメータ最適化や、専用 IC の開発などによって低消費電力化が期待される。

6.2.2 農地や森林での広域監視

ポケガユーザのほとんどは住宅地で生活しており、農地や森林地帯の線量情報が収集されることは稀である。しかし今後、食品の汚染や、生態系の起点となる森林の汚染状況を、広域かつ長期間にわたり把握する必要があると考えられる。4.4 節では FMS による複数地点での定点観測試験を行なったが、より広い任意地域の放射線量を効率よく包括的に収集するためには、次の 2 つの方策が考えられる。

④野生動物による監視

イノシシなど森林を歩き回る野生動物にポケガと GPS モジュールなどを取り付け、線量の広域な分布状況を収集する方式。既に無線機器開発会社のサーキットデザイン社とアイメジャー社の共同開発によって、ポケガをベースとしたイノシシ用モバイル線量計のプロトタイプが製作され、実証実験を行なっている（図 6-1）。



図 6-1 ポケガをベースとした野生のイノシシ用モバイル線量計 [44]

Figure 6-1 POKEGA based radiation monitoring system attached with wild boar [44].

②ソーラー充電式の小型モニタリングポスト

交流電源を必要とせず太陽光のみによって充電し、間欠作動によって定期的に線量を測定、結果を 3G、WiFi あるいは ZigBee などの無線ネットワークによって送信する小型モニタリングポストによる方式。現在、ポケガ製造元のヤグチ電子工業によって開発事業化が行なわれている（図 6-2）。



図 6-2 ポケガをベースとしたソーラー充電式モニタリングポスト

Figure 6-2 POKEGA based radiation monitoring system powered by solar panel.

6.3 放射線監視以外での PSD の成立要件

ポケガにおける PSD が有効に機能した背景として、東日本大震災及び福島原発事故という社会的背景があったことは無視できない。そこで本章では、PSD をポケガ以外のプロジェクトへ応用する際の課題について考える。表 6-1 に、5.4 節で示した初期開発フェーズ、評価フェーズ、議論フェーズ、改善フェーズ、展開フェーズの 5 つのフェーズごとに、「ポケガにおける PSD が成立した要因」と、「一般に PSD が成立する要件」を示す。

表 6-1 PSD の成立要件

Table 6-1 Forming conditions for PSD.

フェーズ	PSD の成立要件	
	ポケガにおける成立の背景	一般化した成立要件
初期開発	福島原発事故による社会的関心の高まり	人々の共感を得る社会問題の提示
評価	放射線を正しく「測定」「共有」したいという意欲	システム・サービスの利用と情報共有の意欲
議論	リスクコミュニケーションに対するニーズの高まり	「知識の乖離」の存在
改善	スマートフォン、PIN フォトダイオードの採用	既製品・汎用品の採用と DIY 化
展開	新しい放射線計測・共有システムの提案	技術イノベーションの提示

初期開発フェーズにおいて、ポケガを立ち上げる上で 5.4.1 項に示したような迅速な協力体制を構築できたのは、福島原発事故という世界を震撼させるような環境事故・災害の社会的インパクトによるものが大きいだろう。このため社会的注目度が高く、プロジェクトの緊急性や必要性が理解されやすかったと考えられる。逆に、平穏時においてこのような迅速な初期開発を行うためには、多くの人々の共感を得られる社会問題の解決策が提示されており、その問題の重大性・緊急性が理解されている必要があるが、そのようなケースは稀であろう。従って、大事故・大災害などよほどの社会的インパクトをもたらす場合を除いては、初期開発フェーズにおいて PSD による迅速な協力体制を構築するのは難しいかもしれない。しかし、それに続く評価・議論・改善フェーズについては、放射線監視以外でも PSD が必要とされる分野が十分に考えられる。以下で詳細に述べる。

ポケガの評価フェーズにおいては、放射線量が場所によって様々であることが広く知られていたため、生活圏の線量を正しく「測定」したい、また、正しく測定できているか皆で「共有」「確認」したいという強い意欲があった。このため、4 章に示したようにユーザ・技術者・専門家による積極的な評価が行われたといえる。また、PSD の評価フェーズが成立するための一般化した要件としては、多くの人々が参加・協力し、様々な場所・条件でシ

ステム・サービスを利用することによって、単体テストでは得られなかったような意味のあるデータが得られることが明確であり、また、そのための場（例：ソーシャルメディア）が準備されていることが挙げられる。

次にポケガの議論フェーズが成立した背景としては、放射線防護に関する一般市民のリテラシーが低く、皆が「議論」して知識を向上したい（させてあげたい）という意識があったといえる。また、5.5.4 項に示したように、議論のためのコミュニティの運営が適切にコーディネーションされていたことも重要である。一方で、PSD における議論フェーズの一般化した成立要件としては、一般市民・技術者・専門家・メディア等の中で、上記社会問題に関する「知識の乖離」があり、この乖離を埋めることが社会的に求められている点が挙げられる。

さらに、ポケガの改善フェーズが成立した背景としては、スマートフォンや電子回路などの既製品の利用や DIY の採用により、4.5.2 項に示したように改善提案が集まりやすかった点が挙げられる。また、5.5.2 項に示したように、適切なファシリテーションにより技術提案のモチベーションが維持された事も重要である。これに対して、PSD における改善フェーズの一般化した成立要件としては、技術がブラックボックスではなく、誰もが解決しようとしている問題の技術ソリューションに触れ、学び、評価・改善を行う機会が公平・オープンに与えられており、そのためのコミュニケーションの場が適切にファシリテートされている事が挙げられる。

上述の評価・議論・改善フェーズについては、放射線監視以外でも PSD が必要とされる分野が十分に考えられる。例えば環境監視の分野についていえば、影響範囲が広域な事例（例：PM2.5、海洋汚染、異常気象、地震など）が挙げられる。また、影響が局所的だが被害が重篤なもの（例：プラント事故、土壌汚染、トンネル崩落、地下水汚染、洪水など）への適用も期待できる。このような事例においては、原発事故で直面したような環境リスクというよりも、漫然とあるリスクに日常からどう準備・対処するかを可視化等の手法によりの確に示すことで、測定の重要性を理解してもらうことがポイントとなるだろう。その他の適用領域としては、公共インフラの整備（スマートシティ等）、医療事故共有、製品事故情報、人権救済制度、紛争監視なども考えられる。

最後にポケガの改善フェーズが成立した背景としては、安価で小型軽量の放射線センサーがこれまで未開拓の分野であり、技術者・専門家にとっては応用可能性が広く、研究のやりがいがあった点が挙げられる。一方で、PSD における改善フェーズの一般化した成立要件としては、何らかの新しい技術イノベーションをもたらす可能性が示唆されている点が重要となるだろう。なお、ここでの技術イノベーションとは、決して最先端の技術によ

るものだけでなく、既製品の組み合わせや、誰も思いつかなかった手法・アイデアにより、これまで技術の恩恵を受けることのなかった人々に新しい価値をもたらすような、より利用者の視点に立った概念を意味している。

7. まとめ

本論は、放射線測定という信頼性と緊急性の要求される環境開始システムの開発において、従来のクローズドな製品開発とは異なる参加型のシステム開発手法によって、迅速かつ高精度な測定器をつくりだすことに成功した「ポケガ」の製品開発事例を分析した。ポケガは震災後初の国産線量計として2011年8月にリリースされ、Type1は1,850円（送料込み）と、世界で最も安価な価格設定となった。ポケガはまた、公的機関による放射線情報の公開が遅れる中、早期に放射線データの測定・共有・議論を行うユーザコミュニティを確立した。ユーザは線量情報と同時に位置情報やカメラ画像を積極的にSNSへ投稿し、これらの情報を元に値の正確性や考え方について技術者や専門家を交えた議論を展開した。また、実フィールドでのニーズに的確に応じながらバージョンアップを繰り返すことで、現在も改善を続けている。

2章では、このような迅速・低コストな開発を行なう上での設計上の工夫として、スマートフォンをはじめとする既製品の積極的な利用、PINフォトダイオード式センサなど汎用半導体の採用に加えて、ユーザが自ら線量計を組立てるDIY方式を紹介した。

3章では、資金、広告宣伝、人的資源、知的財産、生産設備、サポート体制、性能評価・実地試験による精度検証といった課題を、PM(Project Manager)や開発チームの内部に留めることなく、ソーシャルメディアを通じて広く社会に問い掛けることで、海外の専門家や多数のユーザを巻き込み、社会知を効率的に利用しながら行う参加型のシステム開発プロセスを示した。

4章では、専門家・技術者・一般ユーザといったプレイヤーが互いに協力しながら、ポケガの性能評価、市街地・森林でのフィールドテスト、各地での精度確認・改善提案を行った過程を詳細に示した。特に評価・改良する上では、一般ユーザ（市民）も貴重なリソースとなり、Facebookグループを通じて自主的に改善提案・実証試験や相互サポートを行なった。

5章では、これらの設計開発・評価改善パラダイムをPSDとしてモデル化し、専門家・技術者・一般ユーザという3つのプレイヤー間で引き起こされたインタラクションを分析した結果、「迅速な共同開発」「自律的なインターネットコミュニティが形成」「自主的な改善活動」の3点において有益な結果をもたらしていることがわかり、開発手法としての有効性が確認された。さらにPSDモデルにおけるリスク情報の共有は、ユーザ自身による「デ

「一タの自主的な検証」に始まり、政府・公的機関や当事者企業が収集・分析した公的なデータとの比較による「相互比較型の自主検証」といった過程を経ることにより、徐々に市民からの信頼を得るものであることがわかった。また専門家を巻き込んだソーシャルメディア上での議論を通じて、市民が現実的なリスクについて議論する「新しいリスクコミュニケーションの形」を提示することもできた点は重要である。

6章では、ポケガ自体の現状の問題点と今後の展開として、低消費電力化や、農地・森林といった広域監視における課題と展望を述べた。また、他の環境監視のために PSD モデルを適用する際の課題として、環境監視の社会的意義を伝達し共感を得ることの重要性、安価で効果的なセンシング方式を選定する必要性、及び参加者の心の動きや状況を見ながら公平にプロジェクトを進行していけるような、優秀なファシリテーターの重要性を議論した。一方で、PSD モデルと類似する開発パラダイムである「オープンソース」「参加型デザインとユーザ中心設計」「クラウドソーシング」との比較について議論し、その特徴を明確化した。

PSD モデルにおいては、インターネットを通じた自律・協調的な開発コミュニティによって専門性の枠を超えたプレイヤー同士が自発的に助け合い、アイデアを出し合うことで、迅速かつ創発的な問題解決が期待される。参加型システム開発が成立するためには、多様なプレイヤーが能動的に「開発への参加意欲」を示すことが重要であり、そのためには、多くの人々の共感を得られる社会問題の解決策を提示する必要があるだろう。今後は、環境監視（例：PM2.5、海洋汚染、異常気象、地震、プラント事故、土壌汚染、トンネル崩落、地下水汚染、洪水など）、公共インフラの整備（スマートシティ等）、医療事故共有、製品事故情報、人権救済制度、紛争監視といった社会問題への適用も考えられる。この開発モデルが、今後の事故・災害対応や、地球規模での環境監視や様々な問題解決に貢献できるものと期待したい。

謝辞

ポケガのキャリブレーション試験にご協力いただいた、オランダ国防省の Tjerk Kuipers 氏、オランダ国立計量局の Cees Van't Wout 氏、Frans Bader 氏、飯舘村でのポケガを使ったフィールドテストを行っていただいた東京大学農学部の溝口 勝教授、株式会社クロスアビリティの伊藤 哲氏、東京大学の小林 大樹氏、大熊町でのフィールドテストを行っていただいた慶應義塾大学の松本 佳宣教授、大熊町の担当者の方々、プロジェクトの創設期から多大な御支援とアドバイスをいただいた高エネルギー加速器研究機構の一宮 亮氏、ポケガの生産を決意いただいたヤグチ電子工業の佐藤 雅俊工場長、そして Facebook グループを通じてポケガの開発において有益なコメントをいただいた沢山の無名の「開発者」の方々に、心から感謝いたします。

参考文献

- [1] 田中健次、伊藤誠：「災害時に的確な危険回避行動を導くための情報コミュニケーション」、日本災害情報学会誌、No.1, pp.61-69 (2003).
- [2] 独立行政法人国民生活センター報道発表資料：比較的安価な放射線測定器の性能(2011年9月8日).
http://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20110908_1.html
- [3] 独立行政法人国民生活センター報道発表資料：比較的安価な放射線測定器の性能－第2弾－(2011年12月22日)
http://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20111222_1.html
- [4] 独立行政法人国民生活センター報道発表資料：デジタル式個人線量計のテスト結果、平成24年5月24日
http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20120524_1.pdf
- [5] エステー社プレスリリース：生活者の不安を解消するため 首都大学東京と共同開発 家庭用放射線測定器「エアカウンター」を新発売、2011.07.26
http://www.st-c.co.jp/release/2011/20110726_000266.html
- [6] Ichimiya, R.: Radmonitor311 project (Online), available from
<<https://sites.google.com/site/radmonitor311/>> (accessed 2013-08-01).
- [7] SAFecast project (Online), available from <<http://blog.safecast.org/>>
(accessed 2013-08-01).
- [8] 文部科学省報道発表資料：リアルタイム線量測定システムによる福島県内の空間線量率のリアルタイム測定結果の公開について、2012年2月21日.
- [9] 日本リスク研究学会冊子: Emerging Issues Learned from the 3.11 Disaster as Multiple Events of Earthquake, Tsunami and Fukushima Nuclear Accident , pp.42-43 (March 11, 2013).
- [10] 正村俊之：問われる「科学とマスメディアへの信頼」、特集1◆3.11 福島第一原子力発電所事故をめぐる社会情報環境の検証 ―テレビ・ジャーナリズム、ソーシャル・メディアの特性と課題―、学術の動向（日本学術会議）、2013.1
https://www.jstage.jst.go.jp/article/tits/18/1/18_1_42/_pdf
- [11] PocketGeiger Project Webpage
<http://www.radiation-watch.org> (accessed 2013-08-01)

- [12] Knoll, Glenn F.: Radiation Detection and Measurement, pp.365-414, Wiley (2010).
- [13] Iniewski, K.: Semiconductor Radiation Detection Systems, CRC Press (2010).
- [14] K. Iniewski, *Electronics for Radiation Detection*, Florida, CRC Press, 2011.
- [15] H. Spieler, *Semiconductor Detector Systems*, New York, Oxford University Press, 2005
- [16] G Dearnaley and D.C.Northrop, *Semiconductor Counters for Nuclear Radiations*, Second Edition, New York, John Wiley, 1966
- [17] H.Kitaguchi, H Miyai S.Izumi and A.Kaihara, "Silicon semiconductor detectors for various nuclear radiations," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 43, no. 3, June 1996
- [18] Hamamatsu Photonics, Technical Information; Application circuit examples of Si photodiode; Gamma-ray, X-ray detector (2008), p.3 (Online)
http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/si_pd_circuit_e.pdf
- [19] EU Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks: Potential health risks of exposure to noise from personal music players and mobile phones including a music playing function (2008) , Sections 3.3.5., p.21 (Online).
http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_018.pdf
- [20] Bard Van De Weijer: Een onderzoeker in ieders broekzak Smartphones in het regenwoud, Volkskrant, 2013-07-13.
- [21] Auger, P. et al.: What Will Consumers Pay for Social Product Features?, *Journal of Business Ethics*, Volume 42, Issue 3, pp 281-304 (Feb. 2003).
- [22] Kuipers, T. et al: iPhone als stralingsdetector, *Dutch Journal of Radiation Protection*, Issue 2, pp.32-34 (2011).
- [23] Chien-Rong Chen and Shiang-Huei Jiang, "Energy Response and Filter Compensation of PIN Si Photodiode for Personal Dosimetry Application," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 40, no. 4, Aug 1993.
- [24] Mizoguchi, M. et al: Environmental Monitoring of Village Contaminated by Radionuclides, *Proc. AFITA/WCCA 2012*, Taipei, Taiwan, Seminar(19)-03, 138 (2012).
- [25] 溝口勝 : フィールドモニタリングシステム、水土の知 (農業農村工学会誌)、80 (9)、

- p.50 (2012).
- [26] Pocket Geiger Facebook groups (Online) .
<https://www.facebook.com/groups/211114495683282/>
<https://www.facebook.com/groups/225718720808063/>
<https://www.facebook.com/groups/253098568074360/>
- [27] Thompson C.: Build It. Share It. Profit. Can Open Source Hardware Work?,
WIRED MAGAZINE: 16.11 (Oct 20, 2008)
- [28] Eric S. Raymond: The Cathedral and the Bazaar: Musings on Linux and Open
Source by an Accidental Revolutionary, O'Reilly & Associates (2001).
- [29] Trung T. Dinh-Trong and James M. Bieman: The FreeBSD Project: A Replication
Case Study of Open Source Development, IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE
ENGINEERING, VOL. 31, NO. 6, JUNE 2005, pp.481-494
- [30] 喜多 一：参加型アプローチの可能性と課題(<特集>参加型アプローチの展開)システ
ム/制御/情報：システム制御情報学会誌 56(2), 53-56, 2012-02-15
- [31] Michael J. Muller, Sarah Kuhn: Participatory design, Communications of the
ACM - Special issue Participatory Design, Volume 36 Issue 6, June 1993, Pages
24-28
- [32] Douglas Schuler, Aki Namioka: Participatory Design: Principles and Practices,
CRC Press (1993/3/1)
- [33] Gro Bjerknes and Tone Bratteteig: User Participation and Democracy: A
Discussion of Scandinavian Research on System Development, Scandinavian
Journal of Information Systems, 1995, 7(1), pp.73-98
- [34] Susanne Bødker, Pelle Ehn, Dan Sjögren, and Yngve Sundblad: Co-operative
Design -- perspectives on 20 years with 'the Scandinavian IT Design Model',
Proceedings of NordiCHI 2000, Stockholm, October 2000, Stockholm, Sweden,
(2000)
- [35] 吉村 輝彦：参加型まちづくり及び参加型開発にみるその理念及び技法の同時代性,
NPO PI-Forum 誌 5, 2011 Spring, pp.14-15
- [36] 国土交通省 社会資本整備審議会 都市計画・歴史的風土分科会 都市計画部会 次世代
参加型まちづくり方策小委員会 発表資料「次世代参加型まちづくり」に向けてとりま
とめ (平成15年12月)
- [37] Jan Gulliksen, Ann Lantz and Inger Boivie: User Centered Design in Practice -

Problems and Possibilities, TRITA-NA-D9813 / CID-40, KTH, Stockholm, Sweden
1999, pp.7-27

http://www.nada.kth.se/cid/pdf/cid_40.pdf

- [38] Dale Carnegie: 人を動かす、創元社(1999)
- [39] 堀 公俊 : 問題解決ファシリテーター―「ファシリテーション能力」養成講座、東洋経
済新報社(2003)
- [40] 小林 信一著、嶋田 厚・柏木 博・吉見 俊哉 編 : ブラックボックス化の図像学、情報
社会の文化3 デザイン・テクノロジー・市場、東京大学出版会(1998)、pp.103-131
- [41] Norton, M. et al.: The 'IKEA Effect': When Labor Leads to Love, Harvard
Business School Marketing Unit Working Paper No. 11-091 (2011).
- [42] 佐々木 俊尚 : キュレーションの時代 「つながり」の情報革命が始まる、筑摩書房
(2011)
- [43] 田中健次、伊藤誠: 信頼性・安全性確保のためのユーザーと企業の情報共有と活用、日
本品質管理学会, pp.437-443 (2008).
- [44] 朝日新聞 2013年8月23日 第3面 : プロメテウスの罫 イノシシ膨張 即座に「や
ろう」
<https://www.imeasure.jp/?p=1521>

関連論文の印刷公表の方法及び時期

以下は本研究に関連して発表・公開した文献の一覧です。

- [a] Ishigaki, Y., Matsumoto, Y., Ichimiya, R., Tanaka, K. : Development of Mobile Radiation Monitoring System Utilizing Smartphone and its Field Tests in Fukushima, *IEEE Sensors*, Vol. 13, Issue 10, pp. 3520-3526 (Oct, 2013).
- [b] Ishigaki, Y. , Matsumoto, Y., Ichimiya, R., Tanaka, K.: Ultra-low-cost Radiation Monitoring System Utilizing Smartphone-connected Sensors Developed with Internet Community, *Proc. IEEE Sensors in Taipei*, pp. 652-655 (Oct, 2012).