

博士論文

中小企業の研究開発プロジェクト評価に関する実践的研究

浅野 滋

目次

第1章 序論	4
1.1 靴の高機能化・実用化開発プロジェクト	4
1.2 中小企業の研究開発	6
1.2.1 研究開発における3つの障壁	6
1.2.2 補助金事業の成功確率	7
1.2.3 中小企業の研究開発の失敗要因	8
1.2.4 従来の研究開発マネジメントの研究	11
1.3 本論文の概要	13
第2章 スマート安全靴プロジェクト	14
2.1 スマート安全靴プロジェクトの概要	14
2.2 LED安全靴の開発背景	19
2.3 発電機的设计	21
2.4 発電機の試作と評価実験	31
2.5 現場実験と考察	38
2.6 開発過程で明らかとなった問題	41
第3章 提言分析法の提案	43
3.1 PDSサイクルWBSによるプロジェクトの評価	43
3.2 経費支出評価	52
3.3 工数による評価	54
3.4 提言法による可視化	57
3.5 提言分析法のステージゲート法への応用	62
3.6 結論	63
第4章 提言と各事例の分析	65
4.1 収集方法	65
4.2 マッスルスーツ	66
4.3 被災度判定計	68
4.4 運搬ロボット	70
4.5 歩行支援ロボット	72
4.6 観光案内ロボット	74
4.7 テレプレゼンスロボット	78
4.8 健康提案システム	82
4.9 仮想同居システム	84
4.10 災害情報システム	87
4.11 スマート安全靴	90

4.12 10 件のプロジェクトのまとめ	91
4.13 提言の有用性とユーザーテストの有用性	93
第 5 章 提言分析法の適用	95
5.1 分析手法	95
5.2 提言分析法による各プロジェクトの評価	98
5.2.1 マッスルスーツプロジェクトの提言分析	98
5.2.2 被災度判定計プロジェクトの評価	100
5.2.3 介護運搬ロボットプロジェクトの評価	102
5.2.4 歩行支援ロボットプロジェクトの評価	104
5.2.5 観光案内ロボットプロジェクトの評価	107
5.2.6 テレプレゼンスロボットプロジェクトの評価	110
5.2.7 健康提案システムプロジェクトの評価	112
5.2.8 仮想同居システムプロジェクトの評価	114
5.2.9 災害情報システムプロジェクトの評価	117
5.2.10 スマート安全靴プロジェクトの評価	119
5.3 提言分析結果	121
5.4 考察	123
5.5 結論	129
第 6 章 提言の応用としての提言データベース	130
6.1 データベースの構造	130
6.1.1 レコメンダーシステムについての先行研究	131
6.1.2 データベースの構造	133
6.2 提言の分類とその妥当性	135
6.2.1 フェーズ	136
6.2.2 カテゴリ	137
6.2.3 ファクタ	138
6.3 内容ベースアプローチにもとづく提言の推薦	140
第 7 章 結論	142
参考文献	144
謝辞	147

第1章 序論

1.1 靴の高機能化・実用化開発プロジェクト

筆者は戦前から日本の靴業界を材料の観点から支えてきた靴の材料の商社を経営している。社会人として働く傍ら大学院で学ぶ機会を得たのは、靴市場の将来に向けて研究開発の基礎を学ぶためであり、本研究の目的は、中小企業における消費財研究開発の評価方法の提案である。筆者自身の靴高機能化の開発プロジェクト経験をもとに、中小企業が産学連携により多産多死の研究開発事例を分析し、一般化可能な知見を収集するとともに、そうしたプロジェクトを効率的に行うための評価手法を開発する。

日本国内の靴産業は1兆3,900億円程度の市場規模 [1]を持つ巨大市場である。生活必需品であるがゆえに市場規模は人口推移によって変動し、国内では市場規模の大きな伸びは期待できない成熟産業である。現存する最古の靴は2008年にアルメニアの洞窟で発見された紀元前3500年ごろの革の紐靴とされているが、靴そのものの機能はこのころから人間の足の保護という点では変わっておらず、靴における差別化は長らく、デザイン性と素材による履き心地等の改善の2つしかなかった。近代ではスポーツシューズや整形靴を中心に身体機能を高めるための靴や、糖尿病患者向けの靴等を代表に失われた足の機能を補って歩行を可能にするための靴、といったような医療、身体機能増進等の機能も現れてきた。足の保護機能の進化した形態ともいるが、現在でも一般的な靴の機能とはなっていない。日本の靴産業は、デザイン性や素材の点では欧州のメーカーに大きく後れを取っている。加工を中心とする靴職人は数も多く、品質としては高い評価を受けているが、大量生産においてはこうした利点は失われ、デザイン性、素材による快適性、価格などの日本企業の不得意な分野での勝負を強いられる。こうしたことから、時計業界や一眼レフカメラの例に見るように、技術を中心とした高機能化、高付加価値化の路線に舵を切るべきである。

しかしながら、靴業界は電機や自動車業界のようなメーカー主導の産業構造をとっておらず、大手メーカーでも売上高数百億円程度の中規模企業である。筆者の所属する企業を含めて、靴以外の製品開発に知見やノウハウもなく、研究開発を伴う新たな商品開発についての経験を有さない。筆者は、博士課程の期間において複数の研究開発プロジェクトに従事することで、開発品を世に出していく、製品化のための実用化研究開発手

法の知識獲得を行った。第二章で詳細に述べるが、靴の高付加価値化という観点で筆者が取り組もうとしたのは IoT に代表されるような電子機器の搭載、スマートシューズ開発である。

スマートシューズの取り組みは科学技術振興機構が展開する平成 28 年度の研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラムの IoT, ウェアラブル・デバイスのための環境発電の実現化技術の創成のひとつとして、環境発電技術であるジャイロ効果を利用したウェアラブル発電システムの開発事業が採択された。この事業では発電システムの一アプリケーションとして靴への電子機器の搭載の研究が行われた。この成果は東京都産業技術研究センターによる支援を受けて、公募型共同研究にて、IoT 用発電靴本底商品化開発事業内で更なる追加開発が行われた。筆者はこれらの研究開発プロジェクトに開発あるいは事業主体として参画した。本論文ではまずこの成果について述べる。なお、本事業の成果のひとつである足元安全用の LED 安全靴は、2019 年 10 月 15 日～18 日の期間で CEATEC JAPAN 2019 にて展示された。

1.2 中小企業の研究開発

上記のようなプロジェクトを推進するにあたり、中小企業であることによるリソース不足や複数社連携、産学連携における困難など多くの障壁に直面した。一般的に技術を基にしたイノベーションを実現するために、研究開発から事業化までのプロセスにおいて乗り越えなければならない3つの障壁が指摘されている。魔の川，死の谷，ダーウィンの海である [2]。本節では，中小企業の研究開発の課題と解決策をこれら3つの障壁に当てはめて整理する。

1.2.1 研究開発における3つの障壁

魔の川は，研究と実用化開発の間に存在する障壁である。研究成果である技術シーズを市場ニーズに結び付け，具体的なターゲット製品を構想する際に生じる壁である。規模のある市場ニーズと，それを満たす技術シーズを結びつけることができれば，シーズ志向であっても，ニーズ志向であっても実用化開発の段階に進むことができる。技術レベルは高くなくてもよく，また採算は考慮しなくてよい。

死の谷は，実用化開発の段階と事業化段階の間に存在する障壁である。実用化開発ではプロトタイプの製作までを行う。事業化では商品を製造・販売する。これは自己資金では足りず，資金や人材などの経営資源を外から調達する必要がある。技術の完成度，優位性，採算性で出資者を納得させる必要がある。マーケティングを繰り返し，事業化に値するという根拠を得る作業が必要であり，これは自己の資源のみで達成しなければならない。

ダーウィンの海は事業化と事業安定化との間に存在する障壁である。事業を成功させるためには，製品あるいは企業としての競争優位性を構築し，他の代替アイテムとの生き残り競争に勝つことが必要とされる。

次に，中小企業が3つの障壁にどのように対処しているかを述べる。新規の技術開発は，ベンチャー企業では当然であるが，既存の中小企業の場合にも，収益に直結する [3]。しかし中小企業は開発力や資金力が弱いため，3つの障壁は大企業以上に高い。そこで，壁を乗り越える公的な仕組みが用意されている。

魔の川である技術シーズと市場ニーズとのマッチングに関しては産学連携や企業連携に科学技術振興機構や国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

(NEDO) からの補助金がある。

死の谷にも同様の制度があり、ロボットスーツ HAL などは 2004 年に NEDO の次世代ロボット実用化プロジェクトに採択されて以来開発が続き、2010 年に販売が開始された事例である [4]。

ダーウィンの海については、特にロボットや IoT など先進的な取り組みに関して、導入補助金が存在し、購入する側の動機付けの仕組みや、コンサルティングファームなどがベンチャーサポートを実施するなどの取組がある。ミドリムシの培養で有名となった株式会社ユグレナは伊藤忠商事の後援を得て、事業の拡大に成功した例である。

1.2.2 補助金事業の成功確率

筆者は社会人学生として本学に入学し、修士課程の段階から実用化開発プロジェクトに携わり、うち一つはベンチャーを立ち上げるに至り、現在は自身が経営に参画する靴関連企業の傍らで、ロボットのベンチャーにも役員として参画し技術開発と経営の両方の立場を任されるに至っている。これらは、複数の省庁からの補助金を原資とした。しかしながら、関わった開発プロジェクトが全て結実するわけではなく、一般的にも補助金事業の成功率は高くない。

平成 26 年度の NEDO 研究開発プロジェクトに係る追跡調査・評価についての成果報告書 [5]内では、平成 20 年度に終了した NEDO のプロジェクトのうち、5 年経過時点で上市したものは全体 53 プロジェクトのうち 18.6%の 10 件であり、8 の製品化途上を含めても 34%にとどまっている。NEDO 第 3 期中期目標では、「ナショナルプロジェクトについては、(中略) 事業終了後、5 年経過後の時点での実用化達成率を 25%以上とする」という目標値が掲げられているため、これに届いていない。

「NEDO プロジェクト成果の社会実装促進方策に関する情報収集」プロジェクトの平成 26 年度成果報告書では、100 社についてアンケートを実施し 34%が上市を達成したとしている。しかしながら、同報告書の中で、中止、中断に至ったプロジェクトの原因が技術的な困難性であったものは 68 件中 23 件の 33%程度でしかない [6]。実用化開発プロジェクトの上市に至らない理由が技術的困難性以外に存在することは明らかである。報告書の中ではコストの課題やニーズの不一致、市場変化の見込み違いなどが上げられているが、これらはすべて顧客ニーズの把握不足である。ロボットの導入などではニーズの確認のためにユーザーテストが実施され、商品化判断を実施する。このよ

うなユーザーテストがプロジェクト内で実施されていれば、その段階で商品化の適否が判明するが、これらの中断・中止プロジェクトではそうした実証が行われていない。

1.2.3 中小企業の研究開発の失敗要因

補助金制度だけでは研究開発が成功しない理由を列挙する。

1. 中小企業の開発対象の変化

従来のイノベーションでは、大企業による生産財の開発が主流であったが、近年は中小企業による消費財の開発が増えてきた。筆者が従事する靴業界においても、従来はもっぱら製造企業の要求に合致する素材の提供を行ってきたが、今はユーザーが求める新たな機能の創出が必要となっている。中小企業は特定分野の技術は大企業に劣らないが、企画（何を作るか）と販売（どのように売るか）が弱い [7]。このため従来は、仕様と販路が明確な生産財の開発が主流であった。リスクの少ない少産少死であった。しかし近年、生産財の生産は海外移転した。また市場の変化が急速になったため、大企業でも消費財の新製品が不足し、取引先の中小企業に企画を依頼するようになってきた。中小企業は社長と現場が近いため、柔軟性が高く、意思決定が早く、多種多様なモノづくりが得意なためである。消費財の特徴は多産多死にある。例えばカップ麺は年 600 種類が市場に出ている。このように従来と異なるビジネスモデルにおける成否判断は、人的リソースが少ない中小企業には難しい。

2. 目標とプロセスの全体像の把握

下田ら [6]は、研究開発マネジメントの課題を大きく 2 つに分類している。第一の課題は創造性と効率性の両立である。創造性とは製品企画やニーズ仮説の設定であり、効率性はプロジェクトの運営をいかに効率的にできるかである。目標が高いほど運営が難しくなるため両立は難しい。第二の課題は不確実性への対処であり、ニーズの変化とそれに伴う仕様の変化、競合の出現などである。これら 2 つの問題への対処は、目標とプロセスの妥当性の把握に掛かっている。

落合ら [7]は、我が国のモノづくりでは、納期を守るために製品の機能を落とすことが頻繁に起こり、これが、改良型の技術開発における競争力低下の原因としている。初期段階では従来技術の延長で順調に開発が進むが、スケジュールが押し詰まった段階で、難易度が高い開発課題が残っていることに気づき、納期を優先して性能を落とすとして

いる。補助金による共同開発では、押し詰まってからの技術的欠陥の露呈は常態化していると考えられる。実施者、評価者ともに責任感が不十分なため、困難な問題が先送りされるからである。この問題への対処は、技術の全体像を早期に可視化することに掛かっている。

中小企業での研究開発は、従来は死の谷からのスタートであり、確立した技術をもとにした商品開発が多かった。しかし、次に述べるように産学官連携に中小企業も参入できるようになり、魔の川を超える段階の萌芽技術を利用したプロジェクトも増加している。魔の川では、未知の技術に対して、目標とプロセスの妥当性を判断する必要があるが、リソースが少ない中小企業には難しい。

3. 共同開発

中小企業が新たな分野に乗り出すためには、研究、開発、市場調査、量産、販売のあらゆるフェーズで他機関と連携し、それらの得意なリソースを柔軟に組合せることが必要である。中小企業白書では、中小企業の研究開発による商品化について、ニーズ調査に金融機関を利用しているケースでの成功率が高いとしている [3]。中小企業の強みは柔軟性であり、要望に応じて保有技術であればいかなるサービスも機動的に提供できる。しかしながら、市場ニーズの把握や資金、人材確保に困難がある。金融機関は製造業の弱みを補強している。

また中小企業の新市場開拓では、外部の研究成果の利用が成功の要因になることも指摘されている [8]。大学や公的研究機関は、中小企業支援の体制をとっており、連携の開始は容易である。しかし開発を成功させるには、中小企業は研究と開発の立場の違いを知り、研究機関と研究成果を選別しなければならない。研究成果の選別とは、不要技術と追加技術を選別することである。これには、革新的だがユーザーは必要としない技術、想定ユーザーが異なるために抜けている必要技術、ユーザーの意外な要望などを見逃さないノウハウが必要である。研究機関の選別では、共同研究後の振り返りが重要である。失敗した場合、悪いのは相手か自分か、技術か体制か外部要因か、などの分析である。

大学と中小企業の典型的な産学連携を見てみる。産学連携は、大学が研究成果を用いたプロトタイプを企画する段階で始まる。最初の作業は魔の川を渡ることである。具体的には研究試作であり、大学が基本設計を行い、中小企業が詳細設計と製作を行う。ほとんどの場合、財源は公的な補助金による。企業は保有技術を使うのみで新技術開発は行わない。ただし特注品であるので、社長や幹部技術者は多くの時間を掛け、残業で処

理する。プロトタイプが完成すると、主役が大学から企業に移る。企業が商品化開発の判断を行えば魔の川の克服である。開発開始の判断は、技術の完成度が最大の要素であるが、企業の規模、事業領域、経営方針にも依存する。このため、研究試作とは別の企業が開発を行うこともある。魔の川の克服後は、開発フェーズとなり、企業が大部分の責任を負う。企業は市場調査を行ってユーザーを絞りこみ、仕様を固め、必要なら新技術を追加する。財源はマッチングファンド方式の補助金である。中小企業向けの公的補助金事業が多数用意されており、必ずしも技術レベルが高くなくても、新商品であれば助成を受けられる。商品のプロトタイプが完成し、販売量、コスト、販路、量産方法などを検討し、上市の判断を行う。上市判断が下れば死の谷の克服である。以後は企業単独での商品の製造販売となる。

ここで問題となるのは、魔の川での判断である。研究試作の補助金の申請、成果報告、マスコミ報道では、成果が過大に宣伝され、商品化の見込みがたつたと誤解されることが多い。研究開発経験が少ない中小企業の場合、「大学や国やマスコミが良いと言っているのだから商品になるだろう」と誤解してしまうことがある。産学連携に不慣れな中小企業は、大学等を過大評価し、魔の川と死の谷を混同することが多い。前段の研究試作の補助金をとれたことに気をよくして、商品性ではなく補助金獲得の成否で魔の川を渡ってしまうことがある。中小企業に対しては、経営や雇用支援の観点から補助金が出ることもあり、商品性が低くても補助金をとれてしまうことがある。この結果、勝算の無い開発が行われ、商品化判断を行う死の谷で敗退する。従来、中小企業では、大企業ほどには死の谷は深くなかった。現場と社長が近いため、技術判断と経営判断が一致するためである。一方産学連携などの共同開発では、自社だけでなく、他者の技術に対する見極めが必要となる。補助金による開発では、最終責任者が不明確な多頭体制のことが多く、お互いの技術の理解が不十分なままでプロジェクトが進行する。上市の段階では販管費などの企業支出が発生するので、そこで初めて各社が技術を検証する。本来魔の川で確認すべき技術検証が、共同開発では死の谷に持ち越される。

4. 補助金の審査基準

研究試作では、魔の谷の突破のために、補助金が受けやすい仕様が設定される。研究補助金では技術の独創性が最大の評価基準のため、なるべく多くの新技術が試作計画に入れられる。一方、商品化にあたっては、仕様がニーズを満たせば技術は既存技術の方がよい。このため、魔の川の突破のために計画された革新技术の大部分は、死の谷に近づくにつれて従来技術に置き換えられる。置き換えのために新たなすり合わせが生じ、

多くの改良技術が必要となる。中小企業の技術開発は社長と一部幹部技術者が本業の傍らで行うため、改良技術に時間を取られることは、本業を失速させる。魔の川と死の谷で一貫した開発計画があれば、一度作った技術を捨てることはない。しかし計画策定の主役は、魔の川では大学等の研究者、死の谷では企業に変わる。経験の少ない中小企業にとっては、想定外の計画変更であり、先の無い開発に人員を浪費し、死の谷で撤退する。

さらに補助金は、顧客開拓においても負の作用を及ぼす。魔の川での補助金は、ニーズについては、研究者が考えた仮の顧客で合格する。一方死の谷の突破には実顧客が必要である。企業にとっては、顧客に実態が無かったことは想定外である。知名度と従業員が少ない中小企業では、新市場での顧客開拓は困難を極める。社長と最優秀の営業担当者に想定外の負担がかかる。

1.2.4 従来の研究開発マネジメントの研究

以上の問題を解決するには、魔の川から死の谷に至る開発期間全体を通じて、技術や市場の検証を行うことが必要である。そのためのマネジメント手法が必要である。従来の技術マネジメント手法は定型的な技術管理（スケジュール管理や QC 活動など）を対象としていた。新たな技術開発を対象とするものもあるが、成功を前提とする大規模プロジェクト（ソフトウェア開発など）を対象としていた。リスクの高い研究段階のマネジメント手法は暗黙知とされ、定型的な手法はなく、研究例も少ない。その中で、内平[11]は大手電機メーカーにおける研究開発事例を詳細に分析している。プロジェクトの節目で開発担当者が振り返り（フェイズレビュー、PHR）を行い、出された意見を短文で残す方法が一般的としている。またマネジメントノウハウの継承方法として、プロジェクト終了後に、開発担当者に本社の企画担当者を交えたメンバーで振り返り（ポストプロジェクトレビュー、PPR）を行い、PHR も考慮して、プロジェクト関係者以外にも理解できる形で、物語形式でプロジェクトの反省点をまとめるのが良いとしている。これらでは、PHR,PPR の情報をすべて読むか、あるいはファシリテータと呼ぶ専門の分析者が主観で PPR を選び、開発担当者に提示する方法をとっている。この手法は、プロジェクトの進捗を俯瞰するのに有効と考えられる。

また近年、新技術の社会受容性を検証する社会実験も多く行われている。過去には、道路管理や環境保全など、行政に関わる課題の検証が中心であったが、最近は IoT システム、サービスロボット、自動運転などの利用実験が盛んである。その結果、ユーザー

テストを適切に実施することで、上市の確率をあげられる [12]. 技術の完成度と顧客ニーズを知る有力な手法はユーザーテストである. 第3者が技術を使うことで、現場での使用に耐える完成度にあるかが分かる. また顧客にとって、市場にない新規の製品を見るのは興味があり、面白いことであるので、好意的に受け取られ、意外な意見も得られる. また生産財では顧客がニーズを理解していることが多いが、消費財は逆である. 一般消費者は目の前に製品を置かれないと、その必要性を認識しないことが多い. 周りが使いだすと欲しくなる場合も多い. 如何にしてトラブルなくユーザーテストを実施するかは、死の谷を越える有用なノウハウである.

その他のプロジェクト管理手法については、第3章で詳しく述べるが、中小企業が行う産学連携や多産多死の研究開発手法は体系化されていない.

1.3 本論文の概要

本論文は以下のように構成される。本論文は7章からなり、第1章は序論、第2章はスマート安全靴の開発とその過程で生じた技術・運営・市場の課題の整理、第3章は一般のプロジェクトにおけるこれら課題の整理とその記録による事業成否評価法の提案、第4章は自身が参画した10件の研究開発プロジェクトの解説と事業成否分析、第5章はこれらプロジェクトによる提案手法の検証、第6章は提案手法を応用した提言データベース、第7章は結論を述べている。

本研究の目標は、中小企業における消費財研究開発の方法論の提案である。特に従来研究例のない、魔の川から死の谷に関わる分野を扱う。具体的には、実用化開発において、シーズとニーズが結びついた状態で製品化を目指す実用化プロジェクトが開始されてから、プロトタイプが完成し、次の段階として製品化するための経営資源を割り当てる、あるいは獲得する根拠となるニーズとの適合性について実証がされる段階までを取り扱う。前節で述べたスマート安全靴開発プロジェクトはまさにこの死の谷に掛かろうとしている段階である。

本研究は中小企業を直接の事例研究対象とするが、ニッチ市場向けの商品開発など、小規模な萌芽技術開発一般に適用可能な手法である。これら小規模開発は、開発過程が論理的にまとめられることが少なく、本研究は10の事例について筆者自身が時には参加しながらデータを収集しまとめた。前半の開発と後半のプロジェクトマネジメントの研究を中小企業の実情に合った形で一貫して行った。典型的な中小企業の産学連携の形である、企業側の技術・営業・管理すべてを経営者自身で行い、実情に沿った課題が抽出した。その流れを、ニーズ調査、仕様決定、実現手段選択、開発結果の一連の流れ、すなわち魔の川を渡る過程を論理的にまとめることが出来た。それによってフェーズの区分が明確になった。補助金の最終報告は製品性能だけ示せばよく、論文ほどの論理的な流れをもたない。中小企業の開発は、大部分が、作りっぱなしであり、開発過程を論理的にまとめたものは少なく、本論文の意義がある。

第2章 スマート安全靴プロジェクト

本章においては、筆者自身が事業責任者として実施したスマート安全靴、特に LED 安全靴の開発プロジェクトについて述べる。前章の背景に基づき、中小企業の研究開発プロジェクトのモデルケースとして示す。

2.1 スマート安全靴プロジェクトの概要

スマート安全靴の開発に関する試行は、2014 年に介護シューズの中に GPS 追跡装置を入れることで認知症患者の徘徊対策になるというアプリケーションから開始した。2014 年 4 月 24 日に名古屋高等裁判所で認知症患者（91 歳・当時）が JR 東海の線路に入り込み、快速列車にはねられた事故において、責任は介護をしていた妻の B（85 歳・同）にあるとした判決を下した。この影響で大手警備会社などが販売する徘徊対策の GPS 追跡装置が大きく取り上げられ、次いで介護靴のメーカー等が靴へ装着できる GPS 端末を販売した。しかし、同社の端末は手に持たせるタイプのもので、認知症患者が必ずしも持って出るとは限らないことや、靴に装着するタイプの端末は専用の靴でなければならない、認知症患者に靴を変更させることが困難なこと等からその対策には限界があった。

そのため、筆者らは大手携帯通信事業会社の協力を得て同社の小型 GPS 端末を利用して、どのような靴の中にでも端末を入れられるようにする方式の検討を行い、すべての靴に共通する靴底パーツに着目をした。靴底パーツは革靴やスニーカー、女性靴などで形状に多少の差異はあるものの、全ての靴に存在する。その他のパーツに比べて体積も大きいため、機器を組み込みやすい。また、全国に存在する靴の修理屋で靴の底を換える作業を実施しており、一般消費者でもこのサービスを利用すれば現在履いている靴に端末を組み込むことが可能となる。しかし、電池交換を行うことが不可能なため、非接触充電などの技術を利用する必要がある、電源の問題が解決しなかったため断念した。

靴への電子機器の搭載の観点で、靴が置かれる環境の過酷さと、それに伴う密閉の必要が技術的な困難性であると判明した。靴は人間の足の下に存在し、60kg の人間が歩行時した際は加速度も含めて最大で 900N 程度の力がかかる。その場ジャンプの着地の際の入力は体重の 3 倍～4 倍の 2000N 程度である。こうした大きな力が入力がある上

に、歩行による微小な振動を常に受けている。環境面でも水・油といった液体に常に晒されており、真夏には 60℃を超える表面温度をとった道路を歩行する。

靴にはこうした環境や衝撃から足を保護する役目があり、電子機器を搭載する際にはこうした環境条件を考慮する必要がある。さらに、水と油に常に晒されていることから電子機器は完全に密閉された状態でなければならない。突起や凹凸は引っ掛ける可能性があるために靴には付けられず、スイッチ等のヒューマンインターフェースも設置が困難な上、操作のたびにいちいち屈まなければならないことから実用的ではない。

こうした条件から、靴への電子機器の搭載においては、電源及び操作方式が最大の課題となる。現在商品化されている電子機器の搭載された靴は子供向けの LED シューズなどが上げられるが、振動によって起動し、電池寿命はせいぜい数週間で使い捨てである。子供靴の場合にはそもそも子供の成長に合わせて靴も変更されるために寿命が多少短くても問題はない上、LED 自体に大きな機能がなく、故障してもそれほど問題とならない装飾的な機能であることから商品として成立するが、ビジネスユースの靴では電池寿命を延ばすことは最低限の条件である。

電池交換が不能な靴の電源については、電池寿命を靴の製品寿命より長くするか、自己発電するか、非接触充電を行うかといった解決策が考えられる。この中で、非接触充電に関してはバッテリーが必要であるが、リチウムイオン電池は制御が複雑であり、安全機構に不具合が生じれば発火する可能性がある。身に着ける機器の電源としてこうした危険物を採用するのはリスクマネジメントの観点から困難である。電池寿命を長くすることは電源の On/Off の切り替えの制御であり、必要な時だけ起動することで消費電力を最小化することで達成可能である。あるいは本研究室がテーマとする環境発電で自己発電をすることでもこの課題は解決できる。

科学技術振興機構が展開する平成 28 年度の研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラムの IoT、ウェアラブル・デバイスのための環境発電の実現化技術の創成のひとつとして、環境発電技術であるジャイロ効果を利用したウェアラブル発電システムの開発事業が採択された。

この事業で当初想定されていたアプリケーションは以下のようなものである。発電シューズをスマートフォン、イヤホンとともに用いる。歩行時の足の動きに合わせて、音楽が選ばれる。腿を高く上げるほど負荷が大きく、健康増進によい。これは踵の鉛直方向加速度で決まるので、加速度が小さくなったら、アップテンポの音楽を流し、強い動きを促す。踵は靴の標準規格に合致するので、街中の靴修理店で任意の靴に装着可能。

音楽は、クラウドからダウンロードする。計測した加速度データをクラウドに蓄積し、活動量の履歴として、さらなる運動を促す。

事業の中で筆者はマーケティング担当として参加をしていたが、上記のアプリケーションには限界があり、靴業界の多数の人間と意見交換をする中で安全靴というテーマを発見した。安全靴は、人間の足を保護するという機能を一般的な靴よりも高めたものであり、付加機能として静電防止靴や、消防士向けの炎の中でも機能を失わない靴など独自の機能を備えて進化してきた。これらはすべて足元安全に関する機能である。

靴の電子化について、最初に見出した用途は、電設業者用の照明靴であった。電設工事は、建物の外装の完了後、照明配線が完成するまで作業がある。自然光も人工光もない暗い環境で、作業途中の障害物も多い。具体的には、建物の入り口から仮設照明のスイッチまで移動する間の足元を明るくしたいという要望であった。この用途の市場は小さいが、暗所での工事や危険作業に電源内蔵靴のニーズがあることが判明した。子供靴、ビジネスシューズ、スポーツシューズに比べ、安全ためにコストを掛けられ、付加重量に対する制限が小さく、また、無線送信に比べ受信機などの周辺機器が不要で現場向きなどの利点がある。これらで使用する靴は安全靴であり、消費電力の少ないライトはLEDであるので、LED安全靴に目標を絞った。LEDには2つの用途があり、光度が高く装着者が周囲を視認するための照明用と、光度が低く周囲の人が装着者の位置を視認するための自己位置発信である。両用途の市場を調査した。

まずは安全靴のメーカーの協力も得るために、第一試作を実施し、車載用の防水LEDテープをつま先に装着し、靴底内に12V電池を格納したLED安全靴を製作した。図2.1-1はその試作品である。これは光度が高く、照明用と自己位置発信の両方で使用可能である。



図 2.1-1 第一試作の安全靴

この試作品をもとに青木安全靴社やシモン社など国内有数の安全靴メーカーに協力を依頼し、その開発協力の合意を取り付けた。

同時にこの試作品を発表したことで、自身の保有する発電技術と組み合わせての商品化を狙う Panasonic 株式会社も開発に参画を表明した。Panasonic 社はもともと上述の科学技術振興機構の共同研究の枠組みの中で、大手スポーツメーカー、神戸大学と連携して同様の靴の電子化事業を手掛けていたが、スポーツ業界よりも安全靴の業界の方が展開が早いことや、靴業界における浸透力、BtoB における顧客との距離等で、筆者等と共同での事業化を目指すこととなった。

発電機については当初の想定であったジャイロ型振動発電機は内部で高速回転するローターを保有する精密機器であるために靴への組み込みが困難であった。そこで、圧電素子でリンク機構を構築する発電機が考案された。この開発は、上述の科学技術振興機構の共同研究の枠組みの中では実施できなかったため、その他の手段で開発資金を確保する必要があった。東京都産業技術研究センターが展開する平成 29 年度公募型共同研究の、中小企業の IoT 化支援事業のひとつとして筆者の企業が採択をされ、実施された。

発電機技術は将来性も含めれば、靴への電子機器の搭載について非常に有効な電源となり得るが、安定化や量産化等の課題までを考慮すると製品化までは非常に長い期間を要する

開発となる。LED 安全靴に対する市場調査を行うために電池併用型の開発も並行した。この型は発電した電力で LED を起動する発電型とは異なり、歩いている最中のみ発電させる特長を利用して、発電機を歩行認識センサとして利用して電源スイッチとして使用し、スイッチが露出するという外部スイッチの第一試作の欠点を克服する型である。以下、三つの比較を表にまとめる。

表 2.1-1

	外部スイッチ (第一試作)	電池併用発電型	発電型
製作の難易度	○	△	×
照明用としての電力	○	×	△
認識用としての電力	○	△	○
電池寿命	×	△	◎
耐環境性	×	○	○
コスト	○	△	×

外部スイッチ型は試作が非常に容易であるが、屋外での使用は不可であり、実験にも使用できないコンセプトモデルであった。発電機を組み込むことによって、課題は解決できるが、アプリケーションは発電性能に大きく左右され、開発の時間軸が読みづらく、コストも大きくなることが予想された。最低限の発電ができれば良い電池併用発電型は従来の靴発電手法で十分実現可能なため、試作も短く、コストも把握できており、市場調査はこのタイプのもので行うこととした。ただし、電池併用発電型は LED のアプリケーションの場合には数か月しか電池寿命がもたない。調査の中で、製品寿命が短くてもよいアプリケーションであれば電池併用発電型へのニーズがあるとし、製品寿命が一般的な安全靴と同等であれば、発電型へのニーズがあると判断することとした。

2.2 LED 安全靴の開発背景

防災安全の分野でも、GPS、ジャイロ、加速度計、ビーコンを用いた位置測定の安全靴への導入などの技術開発が行われている。作業員の位置把握による工程管理、安全管理を目的としている。平成 30 年度の労働災害の休業 4 日以上之死傷災害の原因としては、転倒が 3 万人超と全体の 25% に上っており、対策が求められている。具体的には、保線作業では集団で移動する際に作業員同士の衝突事故が起きるなどの事象が発生している。しかし安全靴では、電子機器を外付けすると靴が周囲に引っかかったり、強度や防水性が低下したり、足の保護機能が低下するため、外見を変えずに完全密封する必要がある。スイッチのような突起物や、電池交換のための開口部を設けることが困難である。この解決のため、振動スイッチ内蔵する靴が商品化されているが、電池交換が不可で、電池寿命が商品寿命を決定し、寿命は極端に短い。このため、環境発電技術の適用が有望である。

靴を対象とする環境発電は、以下の研究がある [13]。摩擦発電を利用した例では、谷らが表面に nm 単位の凹凸を付けた材料で摩擦を起こして発電する中敷きを靴に入れた事例がある。軽量で簡便な機構ではあるものの発電量が 0.6mW と小さく耐久性については言及されていない。Moro らはカンチレバーの振動によって 0.4mW の出力を得た。人間の体重を直接的に受けず、振動によって発電する点で耐久性に優れるが、出力が小さく、明確なヒールストライク、すなわち着地時のかかとの衝撃力がなければ発電しない。Jeong らはカンチレバーの曲げによる発電と電池の併用で LED を点灯することに成功したが、発電のみの LED 点灯には至っていない。かかと部の部品が垂直方向に 4mm も変位する。Rocha らは、靴に組み込むことを前提とした発電機の研究を行っていたが、発電量 50mJ/h とこれも小さい。鳥海らによる底内のタンクを踏むことでタンク内の流体が移動する力でタービンを回して発電する手法で 0.8mW の電力を生み出すことに成功しているが、構造が複雑でタンクを靴の外に備える必要があり、靴内への組み込みは実現できず、外装に余計な突起物や無駄な重量が許容されない安全靴への組み込みは不可能である。Shenck らはダイモルフ型と呼称する、ユニモルフ型の圧電素子を背合わせに 2 つアーチ構造で固定した発電機で、8.4mW の発電量を実現している。アーチは高さが 6.02mm と大きく、変位量を稼ぐことで大きな発電力を得ている一方で、靴底の変形が大きいため、歩行に支障が出る。アーチ形状の圧電素子を平らにする変形は、中心鉛直方向以外に力がかかった時に応力集中によって、構造が破壊される可能性もある。

また、平均 44.4V の電圧に対して電流は 0.88mA と小さくインピーダンスが高い。内部抵抗について明記されていないが計測に 500k Ω の抵抗を用いていることから推定して数百 k Ω と、内部抵抗が大きすぎて損失が大きい。実効的に使用可能な電力は 1.8mW 程度であることが論文中で述べられている。

本研究では、安全靴においてニーズの大きい、足元安全への対策として、自己位置発信等を目的とした LED を内蔵し、それを環境発電により動作させる LED 安全靴を開発した。

2.3 発電機的设计

まず、暗所において、LED で足元安全を確保するために、光量に関する検討を行った。なお、本研究では 5mm の砲弾型で 3.3V 駆動で定格 30mA 時に 10cd の LED を使用した。暗闇の中での複数作業者が動き回っていると、ヘッドランプが前を向いているため、お互いの位置が特に背後からはわかりにくいため、衝突事故が起こるため、自己位置発信という用途が存在する。5m 範囲をみるための誘導灯として 500mcd の LED が使用されている。上記の LED であれば、1mW の出力があれば十分である。

寸法形状に関しては 75mm 角で 24mm の高さに収まれば、婦人靴の最小サイズにも対応可能である。さらに、歩行快適性の観点では、モジュール全体の縦方向の変位が 1mm 以下であれば、靴底の変位との比較でも問題にならない。図 2.3-1 にコンセプトモデルを示す。

発電機には圧電素子をリンクとするパラレルリンク機構を応用する。図 2.3-1 に示すように 3 次元トラス構造で、6 本のリンク棒が上下のプレート支えることで、任意方向の力が全てリンク棒へ分配される機構である。構造がシンプルで、靴底の変位は 100 μ m 程度で微小、圧電素子に圧縮力のみがかかり、横方向からの入力も得られる。

アーチ構造を用いた Shenck らの発電機と類似の倍力機構であるが、パラレルリンクは 1 つの素子の弾性変形ではなく、多数の素子からなるトラス構造のためいかなる方向の荷重に対しても素子には単純圧縮力がかかる。圧電材料は圧縮強度が高く引張とせん断の強度が低いため、単純圧縮は強度上有利である。また多数の素子が並列に配置されるため、靴底の同一変位に対して大きな発電量を得られる。本研究では既製品の積層圧電素子を試作に使用しているため、品質と供給面で安定性がある。

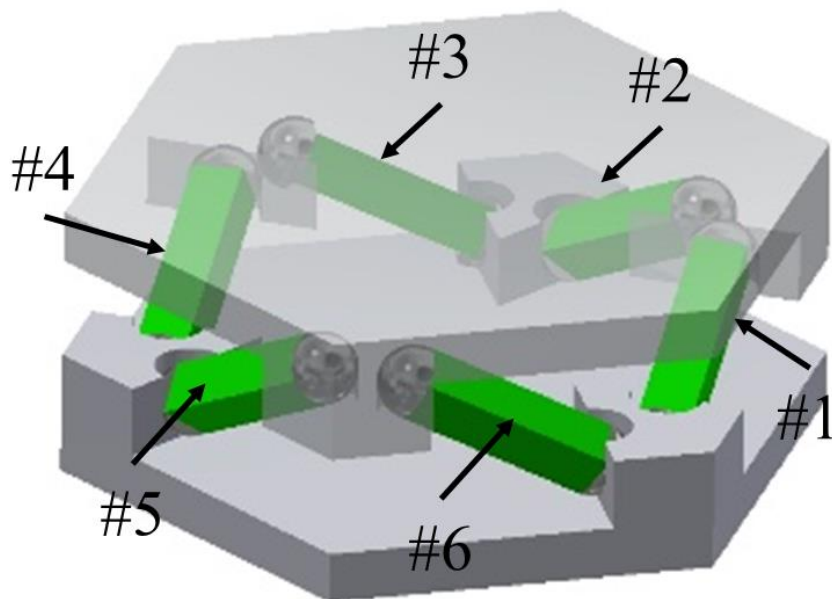


図 2.3-1 トラス機構を構成する平行リンク機構

本発電機は平行リンク機構を用いて多自由度の入力を効率的に圧電素子へと伝える点が特長であるため、リンクを回転自由に支持するヒンジ機構が必要である。従来研究では弾性ヒンジが使用されているが、本研究では、リンクに圧縮力のみ加わることとヒンジの回転が小さいことに着目し、より小型で耐久性のある図 2.3-2 に示されるような傾斜面への穴あけとリンク棒たる積層圧電素子への半球部品の貼り付けとで、このヒンジ機構を実現する。

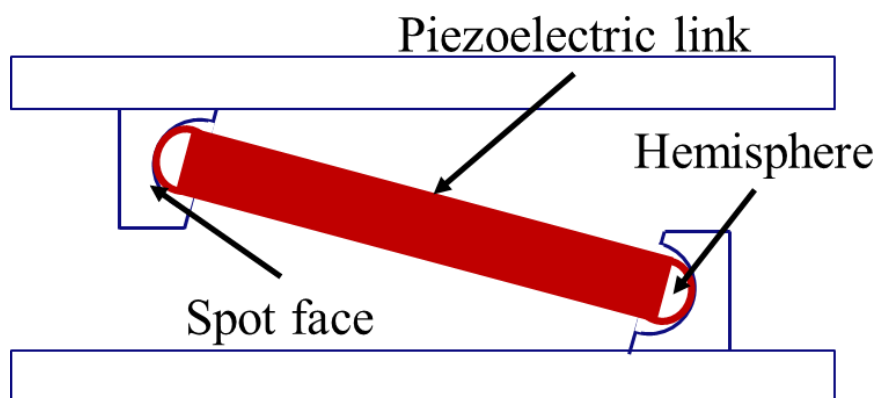


図 2.3-2 ヒンジ機構

次に図 2.3-1 で表したような本発電機の平行リンク機構のステージに力を掛けた時に、圧電素子にどのような力が加わるかを一般式化する．ただし、簡素化のため、力の入力は鉛直方向のみとする．

使用する圧電素子のヤング率は $4.4 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ であり，上のプレートの中央に鉛直に 100kg の力が加わった場合では、軸方向に $19\mu\text{m}$ しか変位しないため，微小変形を仮定する．

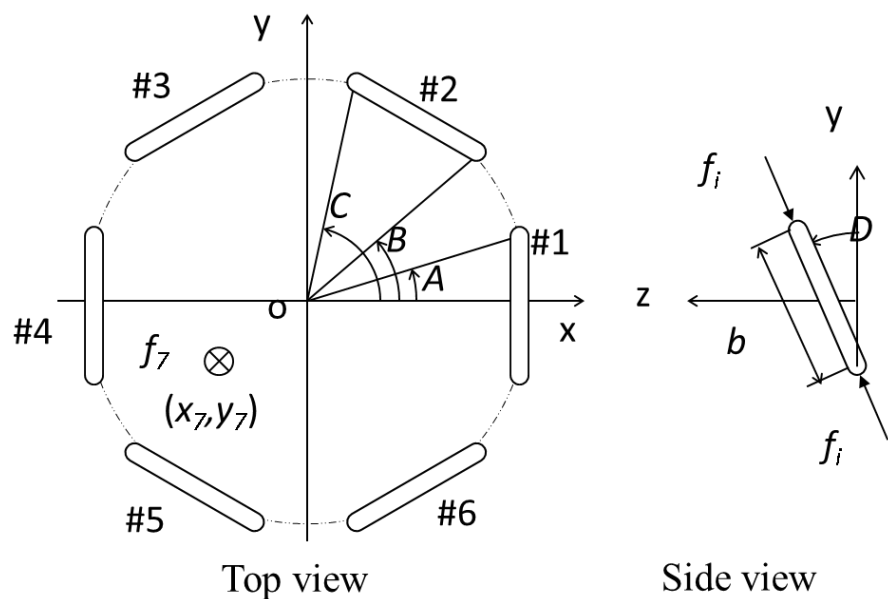


図 2.3-3 リンク機構の機械的モデル

計算の前提となるモデルを図 2.3-3 に示す．本発電機ではリンク①～⑥が Fig.7 の No. 1～No.6 の 6 本の圧電素子に該当する．

リンク i の軸力を f_i とする．平面図上で，リンク端と中心を頂点とする三角形の頂角の半分を A ， $B=60-A$ ， $C=60+A$ とおく．リンク棒の長さとして圧電素子とヒンジ用半球の長さを b とする．

圧電素子とステージ面がなす角を D と定める．

この時、点 (x_7, y_7) に鉛直方向から入力された大きさ f_7 の力と $f_1 \sim f_6$ の関係は(1)式となる。

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ \sin A & \sin B & \sin B & \sin A & -\sin C & -\sin C \\ \cos A & \cos B & -\cos B & -\cos A & -\cos C & \cos C \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \end{bmatrix} = \frac{f_7}{\sin D} \begin{bmatrix} 1/3 \\ 1/3 \\ 1/3 \\ y_7/b \\ x_7/b \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots(1)$$

本式は、次節の試作機のヒンジ機構が回転自由にリンク棒たる積層圧電素子を支えているか、確認するために使用する。

発電機の発電量の見積もりのために、使用した圧電素子の特性を調査した。使用した積層圧電素子は NEC TOKIN AE0505D16F [14]である。特性のカタログ値は以下である。

表 2.3-1 積層圧電素子のカタログ値

特性	値
剛性	48.9N/μm
共振周波数	69kHz
両端自由での静電容量	1.4μF
絶縁抵抗	10MΩ
両端固定 150V での発生力	850N
両端自由 150V での発生変位	17.4μm

以上の値から、力と発生電圧の関係を求める。まず倍力機構の共振周波数を求める。上記の共振周波数は、両端自由な棒の縦振動の値である。本発電機では、倍力機構により、上下方向の力を拡大して圧電素子に加えており、さらに素子の下端は変位しない。このため、圧電素子の仰角を D とすると、上下方向の剛性は軸方向の D^2 倍となり、さらに片端固定の効果により固有振動数が $1/2$ となる。この結果、倍力機構における素子の固有振動数は上記の $D/2$ 倍となる。本研究の発電機では、後に述べるように $D=10.5\text{deg}=0.18\text{rad}$ であり、固有振動数は $\omega_n=6.3\text{kHz}$ となる。

次に、発電機に加わる外力の周波数 ω を求める。歩行時の靴に加わる力は時間とともに変化し、踵が地面に接するときに衝撃力が靴底に加わる。長距離走ではヒールストライクと呼ばれる。これが最も高い周波数成分をもつ。後に述べるように、実測値で $\omega=50\text{Hz}$ 程度である。これを外力の周波数とする。

これらにより、機械特性について、慣性力、粘性減衰力、ばね力の比を求める。慣性力とばね力の比は、 ω^2/ω_n^2 であり、 $6.3\text{e-}5$ である。減衰比を ζ とすると粘性減衰力とば

ね力の比は $2\zeta\omega/\omega_n$ である．積層圧電素子の一般的な減衰比は $\zeta=0.01$ 程度であるので， $2\zeta\omega/\omega_n=1.6e-4$ の程度である．したがって，機械特性については，ばね力のみ考慮すればよい．このとき，圧電素子の等価回路は図 2.3-4 となる

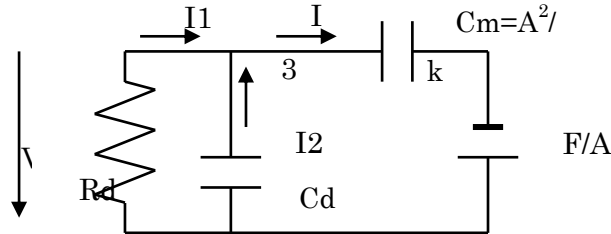


図 2.3-4 圧電素子の等価回路

ここで， A は力定数（両端固定時の発生力と電圧の比）， C_m は弾性変形に等価な容量， C_d は動きを止めたときの静電容量（制動容量）である．カタログ値から計算すると $A=5.6\text{N/V}$ ， $C_m=A^2/k=0.65\text{ }\mu\text{F}$ ， $C_d=C-C_s=0.75\text{ }\mu\text{F}$ である．一方，1つの素子に対して， C_m と C_d を両端自由の条件で実測したところ， $C_m=0.4\text{ }\mu\text{F}$ ， $C_d=1\text{ }\mu\text{F}$ であり，5割の差があった．一般に， C_m ， C_d にカタログ値からの計算値を用いると，素子ばらつきが等価回路のモデル化誤差により拡大され，誤差が大きくなる傾向にある．そこで，これらには実測値 $C_m=0.4\text{ }\mu\text{F}$ ， $C_d=1\text{ }\mu\text{F}$ を用いることとする．この系の回路方程式は次式となる．

$$\frac{C_m \dot{F}}{A} = \frac{V}{R_d} + (C_d + C_m) \dot{V} \cdots (2)$$

線形方程式なので，解は積分形で書き下せる．

$$V(t) = \frac{C_m}{A(C_d + C_m)} \left[F(t) - \frac{1}{t_0} \int_0^t F(\tau) \exp\left(-\frac{t-\tau}{t_0}\right) d\tau \right] \cdots (3)$$

ここで，

$$t_0 = R_d(C_d + C_m) \cdots (4)$$

は時定数であり，カタログ値によれば 14s である．

実測値とずれがないか確認を図 2.3-5 に示す実験装置で行った．

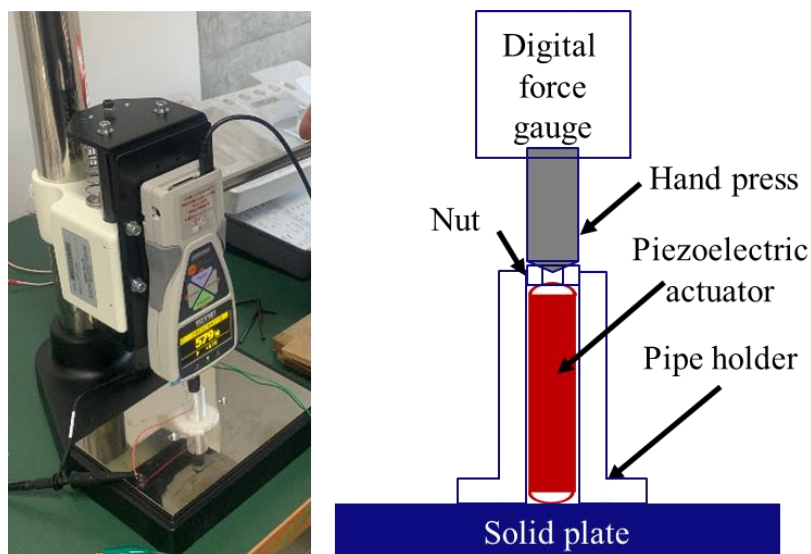


図 2.3-5 出力計測のための実験装置

図 2.3-5 に示すよう、レバーハンドルで積層圧電素子に力をかけ、デジタルフォースゲージに記録された力のピークとオシロスコープで計測した積層圧電素子の両端電圧をオシロスコープで計測した。積層圧電素子が単純圧縮となるように、積層圧電素子を固定する筒状のホルダーで支え、ハンドプレスが滑らないよう、ナットをハンドプレスの先端と積層圧電素子の端の半球との間に挟んだ。

荷重および電圧の実験値と計算値を図 2.3-6 に示す。荷重時間が 7s でヒールストライクよりさらに周波数が低いため式(2)が成り立つ。そこで計算値は、荷重の実験値を式(3)の F に代入し、数値計算により求めた。実験値と計算値はよく一致している。最大電圧の計算値は 33.5V、最大荷重は 750N であり、両者の比は 0.045V/N である。

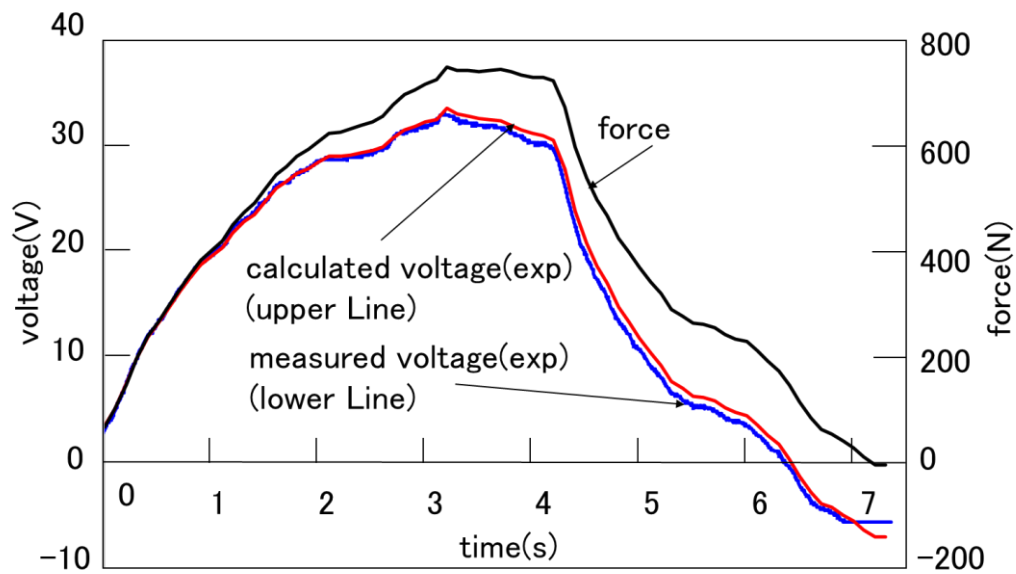


図 2.3-6 積層圧電素子単体の荷重と出力電圧

次に、多数の圧電素子に対して、最大荷重を変化させて最大電圧を測定した。結果を図 2.3-6 に示す。また、電圧と荷重の比を図 2.3-5 と同じとし、

$$V(V)=0.045F(N)\dots(5)$$

として計算した電圧を赤線で示す。この計算値は、荷重の時間変動が図 2.3-6 と同一であり、荷重の最大値が変化すると上下方向に波形が伸縮すると仮定した値である。実験値と計算値は良く一致している。以上により、圧電素子の荷重電圧特性は図 2.3-4 の等価回路であり、また、手動でも注意して荷重を加えれば、式(5)が成り立つことが確認できた。

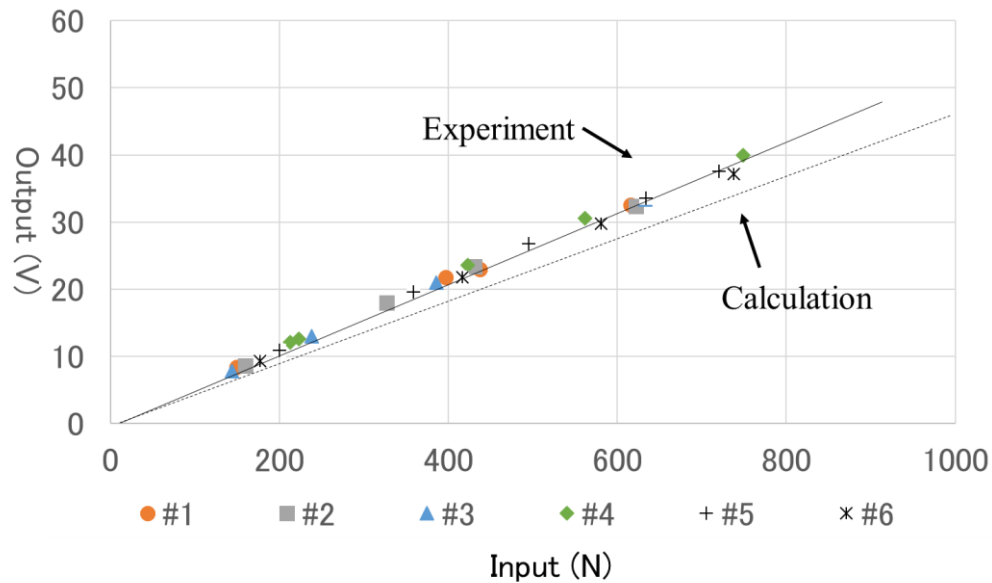


図 2.3-7 積層圧電素子の出力電圧比較

本研究の発電機は倍力機構であり、ヒンジ機構に係る力は体重の数倍にも相当する。筐体は体重を支えるだけの強度が必要であると共に、重量も可能な限り軽くする必要がある。図 2.3-1 で示したような構造での強度を FEM により計算した。ヒンジ部にかかる応力の分布について、図 2.3-8 は引張応力を、図 2.3-9 は圧縮応力分布を示したものである。簡単のため、すべての圧電素子に同一の荷重がかかるものとして 1/6 のみを計算し、変形は微小、材料特性は線形とした。また球穴の半球接触部に均一な垂直応力が加わるものとした。これは半球と球穴の間にグリース等の流体膜があり、かつ密封された状態に相当する。入力は 1Mpa で計算をしている。

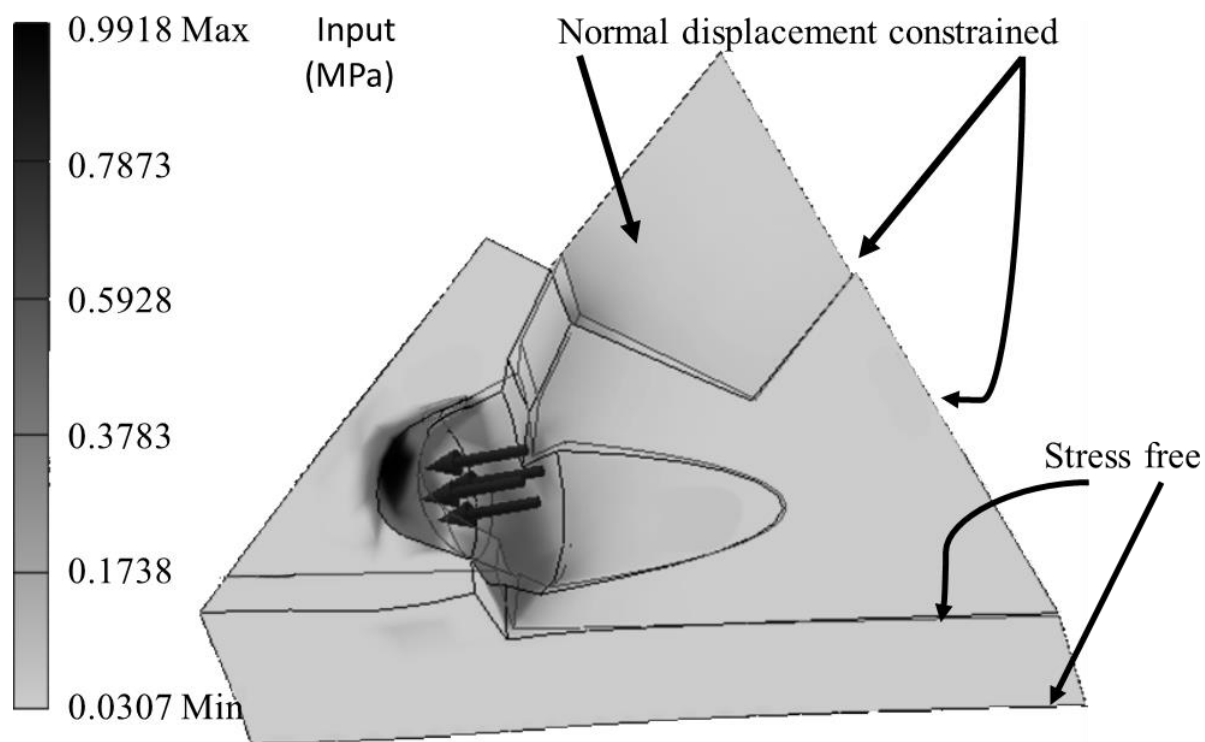


図 2-3-8 球穴に 1MPa の分布力を加えた場合の引張応力分布

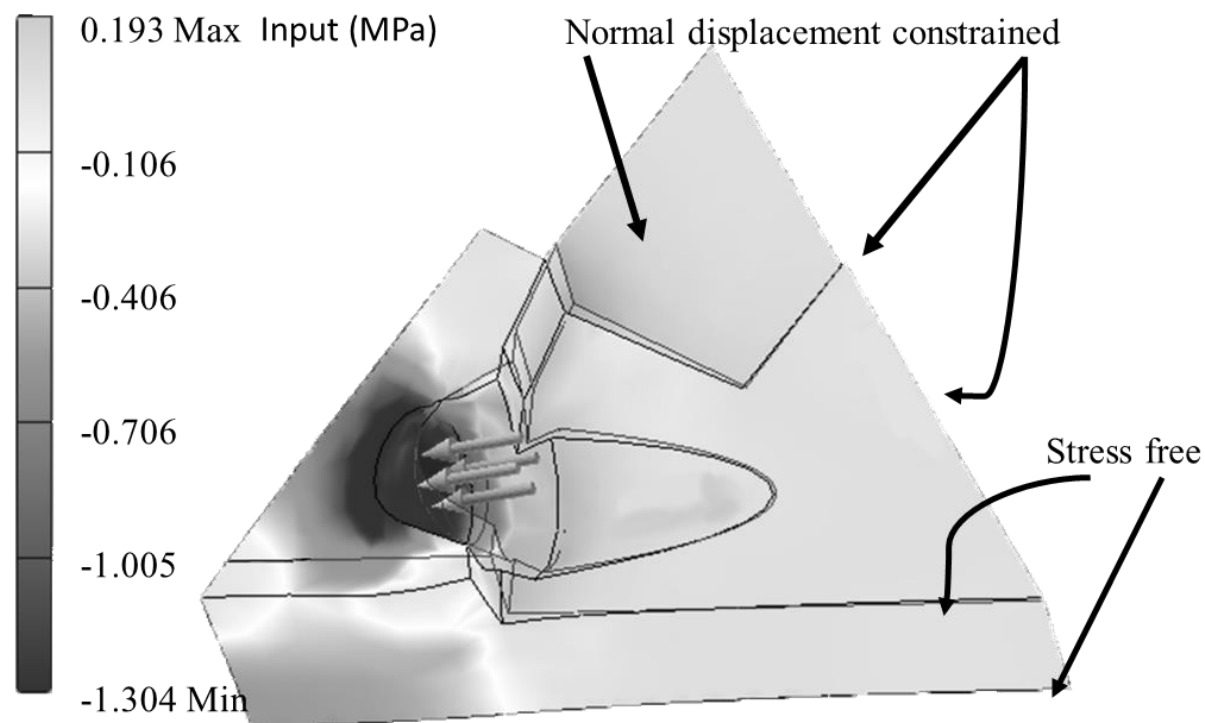


図 2-3-9 球穴に 1MPa の分布力を加えた場合の圧縮応力分布

引張応力は、球穴に加わる応力の 0.99 倍、圧縮応力は 1.3 倍がそれぞれ最大値であることがわかる。球穴に加わる応力は(1)式で得た軸力を直径 7mm の球の断面積で除したものであり、1000N の力が中央に鉛直にかかった場合には 23.6Mpa となる。例えば 3D プリンタ用の Stratasys 社の ABS 材料では、引っ張り強さが 55-60Mpa 程度、圧縮応力は公表されていないが、曲げ強度が 80-100Mpa 程度あることから、十分な強度を持っていると考えられ、樹脂での製作も可能である。

2.4 発電機の試作と評価実験

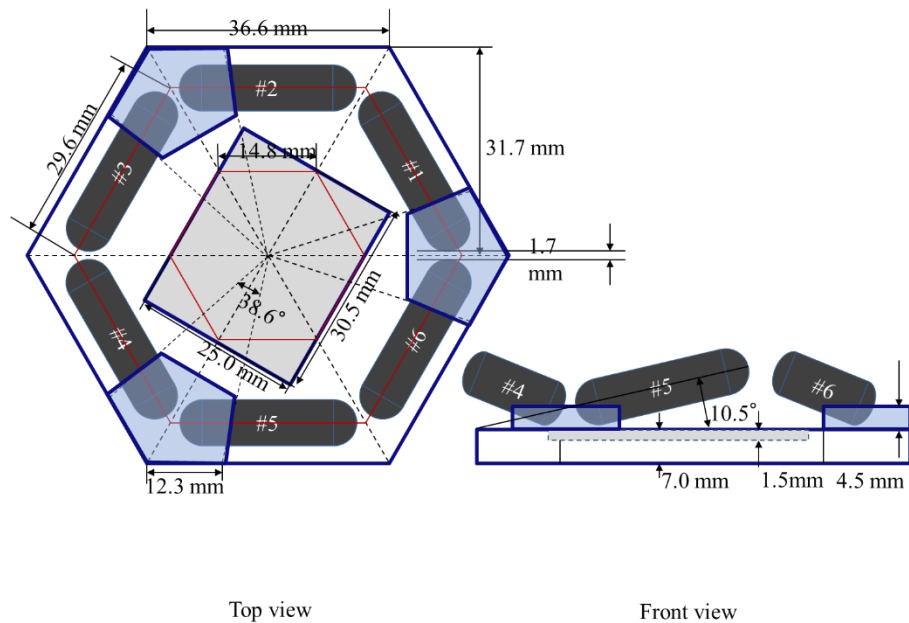


図 2.4-1 試作機の寸法図

図 2.4-1 は試作機の機械的寸法を示す。濃い部分の#1～#6 は積層圧電素子を示す。五角形の形状部はヒンジ機構の突起を表す。中心の四角はダイオードブリッジ基板を格納するためのへこみである。試作機は 1 辺 36.6mm で 22mm の高さの六角柱形状となる。5mm 角で長さ 20mm の積層圧電素子を 6 本、リンク棒として格納する。本形状は 23.0cm の婦人用の安全靴の標準的木型に合致しており、靴の踵直下に格納できる。図 2.4-2 は試作機の写真である。

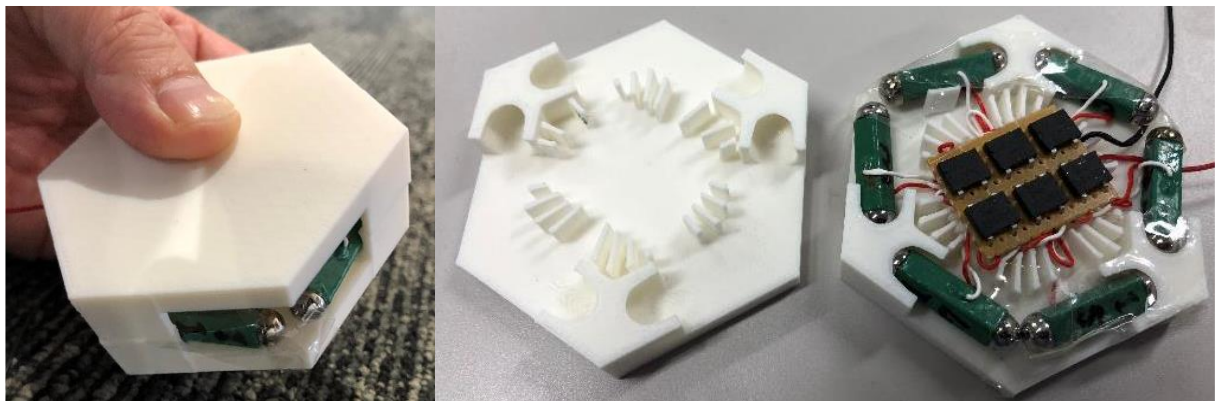


図 2.4-2 発電機の試作

本章では発電機への力の入力に対する出力電圧を計測する．3章で使用したのと同じ実験装置で、6本の圧電素子の両端電圧をそれぞれオシロスコープで計測する．

図 2.4-3 に実験した入力位置を示す．

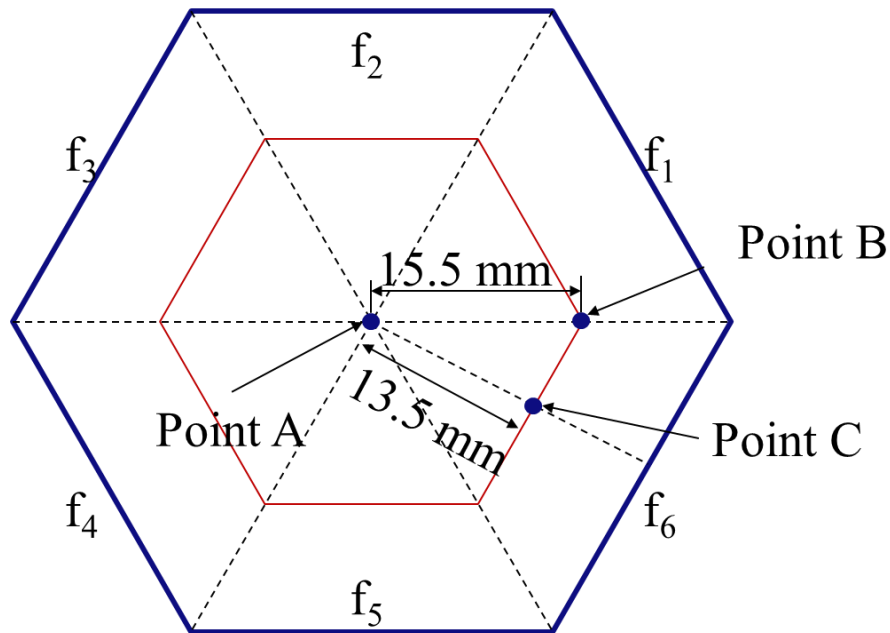


図 2.4-3 計測用の加重ポイント

本実験では、点 A に 738N と 437N、点 B に 711N、点 C に 778N の力を入力した．

図 2.4-4 に実験結果と式 (1) と (3) からの計算値を示す．実験値は全体的にやや下振れる傾向があったが、全体としては予想値の -9% 程度の誤差であった．このことから、回転自由のヒンジが作られ、素子は単純圧縮にあると言える．

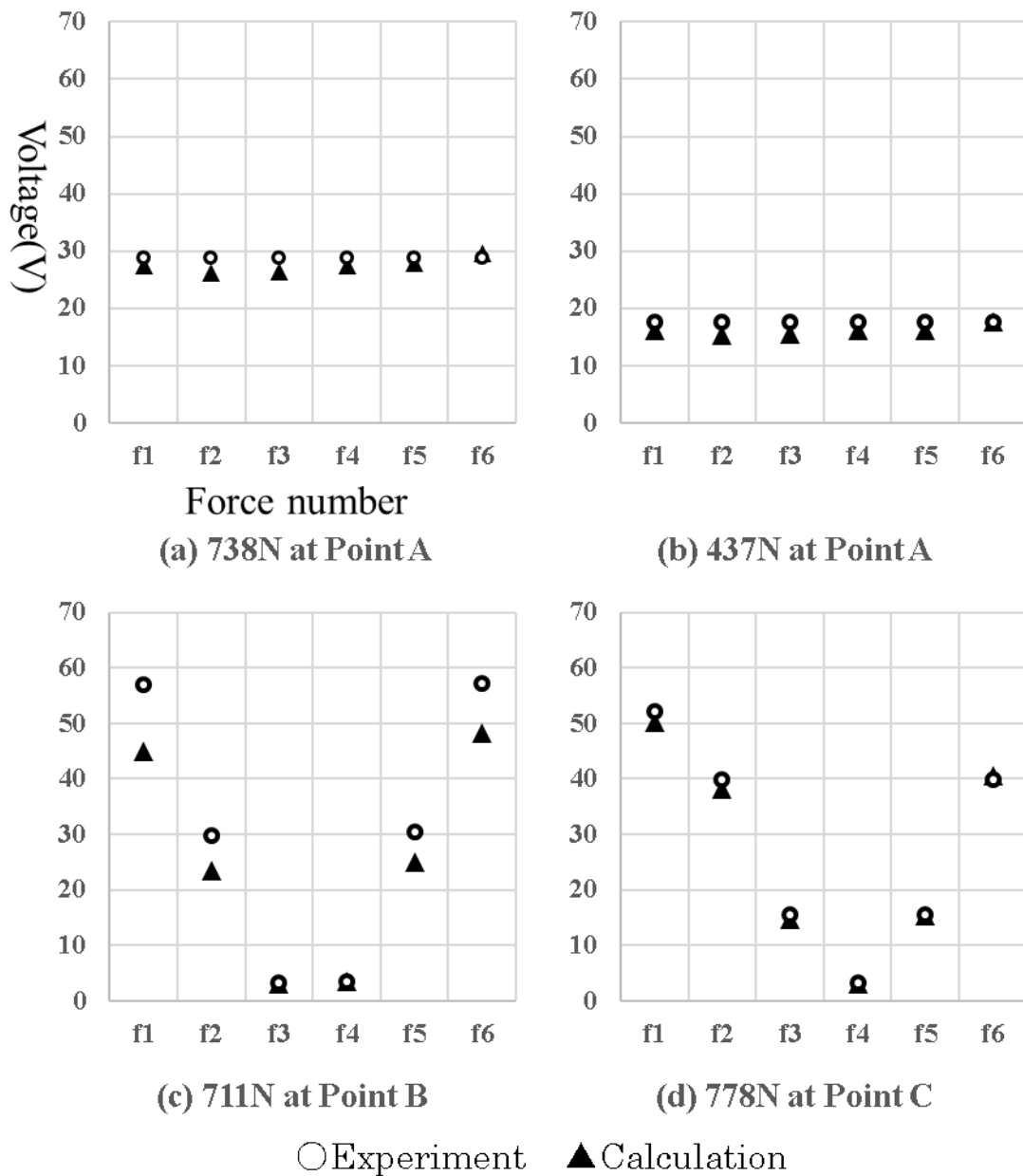


図 2.4-4 実験値と荷重時の出力の比較

次に、靴に組み込む前に発電機を実際に足で踏んだ時の出力を計測した。積層圧電素子の内部インピーダンスは $20\text{k}\Omega$ 程度で、LED は $1\text{k}\Omega$ 程度である。そこで実験機では、図 2.4-5 に示すように 6 本の圧電素子の出力はダイオードブリッジを介して並列接続とし、その負荷として電流計測用の 100Ω 抵抗と 3 個の LED を全て直列接続とした。3 個の LED への出力電力を計測するため、 100Ω 抵抗と 3 個の LED の端子間電圧を計測した。積層圧電素子は数十ボルトを出力するが、LED は数ボルトで十分で

ある．この回路によって、負荷側のインピーダンスをあげ、出力側のインピーダンスをさげることができ、損失が少なくなる．

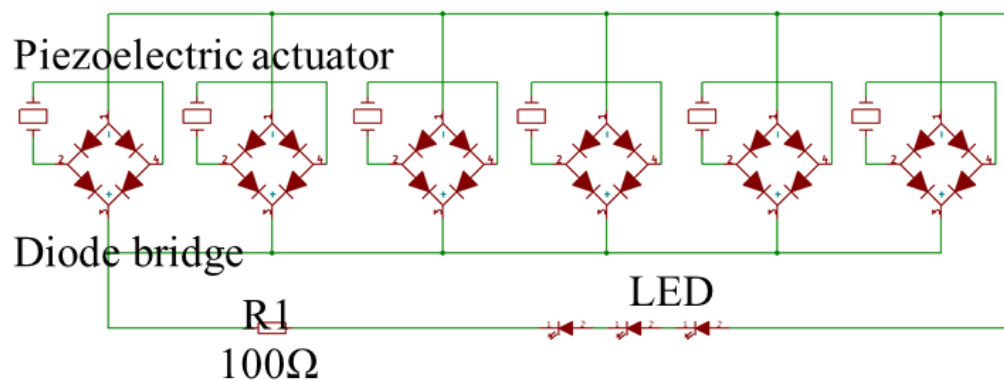


図 2. 4-5 計測回路

本実験では発電機に実際に体重をかけて 1 秒に概ね 1 回その場で足踏みをして計測した．Fig.17 は、足踏みに対する 6 本の出力の合計の発電量を縦軸、時間を横軸として示したものである．

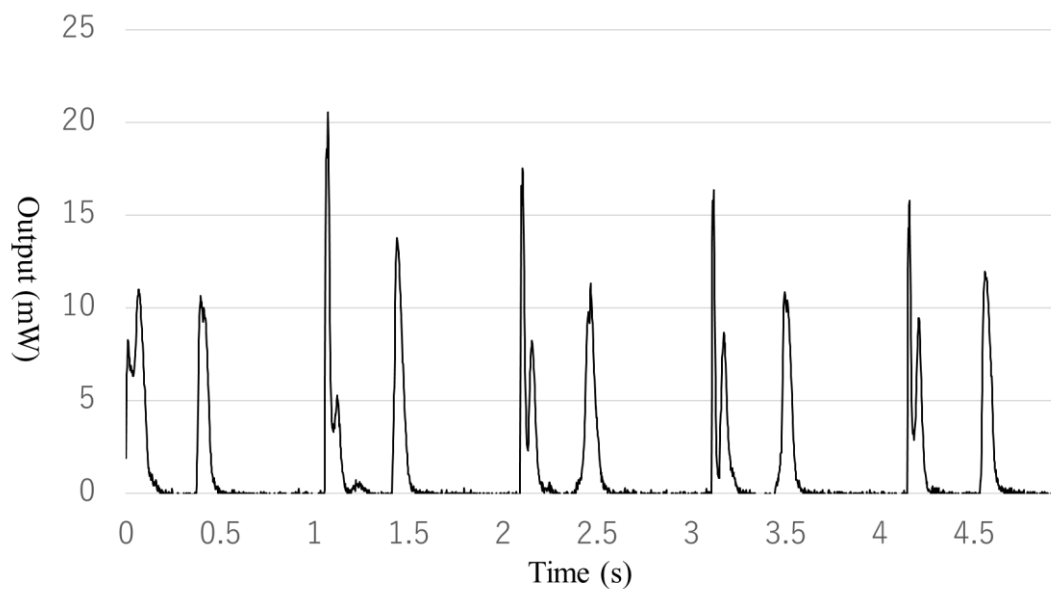


図 2. 4-6 発電機の出電力

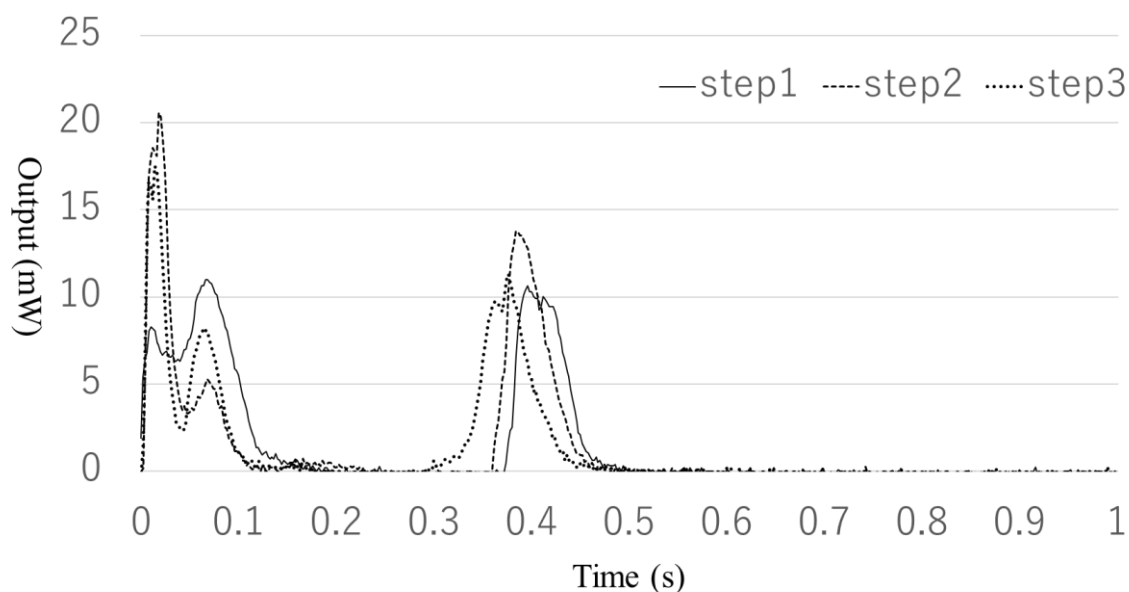


図 2.4-7 1 歩ごとの発電機出力電力

本実験では発電機に実際に体重をかけて 1 秒に概ね 1 回その場で足踏みをして計測した．電流計測用の抵抗 R1 の両端電圧から計算した電流と計測電圧とを積算して発電量を求めている．時間平均で 1.29mW 程度の発電量を確認した．図 2.4-6 に示すように，ピーク時の瞬間発電量は 20.3mW に達している．これは踵接地時の衝撃力によるもので，ヒールストライクに相当する．図 2.4-7 に示すようにその直後の小さいピークは衝撃荷重の除荷時の圧電素子伸びによるものである．幅の広いピークは，蹴り出し時の荷重によるものである．

周波数成分について補足する．踵接地時のパルス状電圧の幅は 10ms 程度である．従って，発生電圧の基本的な周波数は $1/20\text{ms}=50\text{Hz}$ である．電圧波形は三角波状であるので，より高い周波数成分を含む．しかし細かな変動は波形の面積への影響は小さいから，発電量を求める上では 50Hz を支配的な周波数と考えてよい．50Hz は倍力機構の圧電素子の固有振動数 6.3kHz に比べ 2 桁小さい．従って電圧波形は素子の共振の影響を受けておらず，50Hz は圧電素子に加わる力の周波数と考えてよい．圧電素子単体の荷重電圧特性の計算では，この値を用いた．

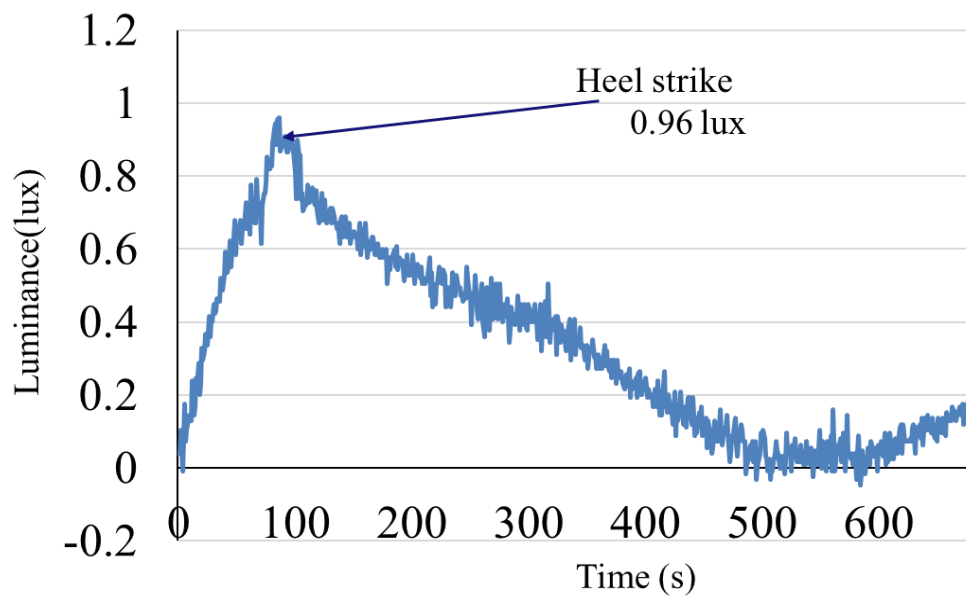


図 2.4-8 照度

図 2.4-8 は暗室で 1m の距離で計測した結果である．事前計測での暗室の照度は 0.05lux 程度であった．ピーク時の照度は 0.96lux であり、1cd に相当する．2.2 で検討した光量を十分に満たしており、自己位置発信用の LED 付安全靴としての性能を満足することが確認できた．従来の研究例とは異なり、靴の外装に余計なパーツや突起がなく、靴底の変位もほとんどなく、靴としての性能要件と製造用件を満たしていることが確認できた．



図 2.4-9 靴の試作品の写真

図 2.4-9 は試作した靴の写真と、東京都産業技術研究センターから提供された内部構造の X 線写真である。

2.5 現場実験と考察

LED 安全靴では、上述の発電機タイプのものと並行して、Panasonic 社との共同により、同社の発電機をスイッチ機構として使用する電池併用発電型の開発を実施した。出力電力は本方式のほうが大きく、さらなる改良の余地もあるが、Panasonic 方式のほうがコストに優れる。電池併用発電型は電池寿命がアプリケーションによって変動する点もデメリットであり、電池の環境性能によって製品全体の環境性能が左右される。従って使用温度の極端に高い、あるいは低い環境での利用は困難であり、LED のアプリケーションにおいては製品寿命は数か月しかもたない。2.1 でも述べたように、こうした環境性能であっても許容されるアプリケーションであれば、コストを優先して電池併用発電型を、許容されなければ発電型を採用すべきとなる。

2018 年 7 月以降、Panasonic 社との連携の下で保線事業者、物流事業者、警備業者などで評価試験を行った。1 カ月以上の試し履き期間を経ていくつかの有用なフィードバックを得た。

保線事業者においては LED 安全靴にニーズがあり、つま先部に 2m 先を照らせる強さの LED が必要という結論を得た。照明用途でのニーズである。

物流事業者 A（港湾）においては、LED 安全靴にニーズがあり、薄暗い倉庫の中で、フォークリフトとの衝突事故が多く、現在は無線を使用した音での警告システムを導入しているが効果的でなく、代替可能性があるとの結論を得た。自己位置発信用途でのニーズである。

物流事業者 B（宅配）においては、LED 安全靴にニーズがあり、いわゆる宅配ドライバーの安全対策装備として、既に自転車や荷車を光らせる取り組みや身につけるものへの反射板や蛍光材の採用を進めており、さらなる効果も期待できるという結論を得た。自己位置発信用途でのニーズである。

警備事業者においては、常駐を含む業務においては LED 安全靴にニーズがなく、秘匿の原則のために却って自己位置を知られるのがマイナスの効果であるとの結論が出た。ただし、ロードスタッフと呼ばれる交通誘導や駐車場警備などにおいては現在も、身につけるものへの反射板や蛍光材の採用を進めており、さらなる効果も期待できるという結論を得た。自己位置発信用途でのニーズである。

これらのニーズがあるとした業者の一部からは期待される効果と、導入足数から考慮

した1足あたりの期待価格も提示された。宅配の物流業者については、労働者の移動距離が長いことから、靴の消耗が激しいため製品寿命が短く、電池併用発電型で十分である。その他事業者では安全靴と同様1年ないしは2年の製品寿命が必要であることから発電型を使用する必要がある。

また、LEDによる自己位置発信のみならず、人事評価のための正確な計量・位置追跡、行方不明者搜索のための自己位置発信機といったニーズが出されるなど、実物をもって試験導入を兼ねたマーケティングを行うことで、更なる他の応用用途も収集することができた。図2.5-1に示す展示会においても、こうした応用用途の提案がなされ、靴内除菌や靴内温度の調整などの着想を得た。

これらの市場の可能性は、小規模でも電子機器搭載の靴を安全靴に組み込んだ形で公表をし、現場ユーザーへの直接的なヒアリングやマーケティングを行ったことで初めてわかったことであり、新たな付加価値の可能性を探る情報収集手段として有用であるといえる。

自動車産業においても、未来モデルを展示するなど、現時点では実用化されていないコンセプトモデルを出し、市場の反応を見るテストマーケティングが実施されており、試作品によるマーケティングは、市場からの情報を得る点で非常に有効な手法である。



図 2.5-1 展示会の出品の様子

2.6 開発過程で明らかとなった問題

技術と市場における詳細はこれまでに述べた。その他に、管理運営上の課題や工夫が抽出された。以下に列挙する。

ユーザーテストの担当者を開発者ではなく営業担当にさせることで、交渉の余裕や開発リソースの確保ができる。さらに、技術者の主観を排除し、第三者のみによる検証が可能となる。ユーザーテストを行う中で、追加の仕様が提示されるため、可能な限り早く実験を行うことが望ましい。相手方からのフィードバックについて、技術的なものであっても、開発技術に関連するものと、使用感や操作感といった開発技術以外のものに分類して開発技術に関連するものを収集すべき。ユーザーテストを効率的に進めるため、可能な限りパラメータを変更できるような仕組みを作っておくべき。例えばLEDの指向性、LEDの点灯パターン、中敷きでのサイズの調整など。

技術面でのフィードバックでは、以下のようなものが抽出された。発電性能以外の明確な基準を定めずに開発を行うと、サイズや重量などの項目が抜ける可能性がある。ユーザーテストで世に出す以上、禁止物質や量産対応不可なパーツを使用してはいけない。量産を見据えて、開発をすべきではあるが、量産開発時に行う内容と峻別し、性能確定のための開発を優先すべき。

これらの課題と工夫は、靴の開発に限らず、中小企業が萌芽技術を商品化する際に、魔の川と死の谷を越える際に、常に発生する。図2.6-1はスマート安全靴プロジェクトを抽象化した実用化開発プロジェクトのモデルである。

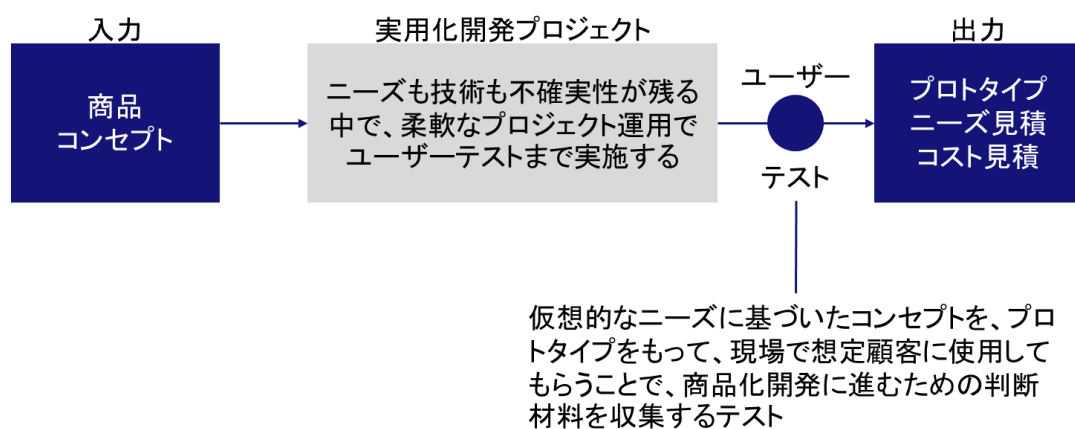


図 2.6-1 本論文における研究開発プロジェクトのモデル

より具体的に、プロジェクト内容を細分化すると、本プロジェクトのプロセスは、フェーズとカテゴリによって整理できる。フェーズについて、プロジェクトは計画、実験室、現場実験、ユーザーテストと進む。本 PJ の場合、計画は都産技研の補助金申請までで、特許出願と安全靴メーカーとの市場調査である。実験室は圧電素子の特性評価、パラレルリンクの試作と発電量測定である。現場実験は発電機の靴への組み込みと光度評価である。ユーザーテストは電池式安全靴の製作と鉄道現場でのテストである。PJ の方針判断は常時行うが、各段階が切り替わるときに、大きな判断を行っている。そこで資金と共同研究先が必要となるからである。ユーザーテストは、ニーズの不確定性排除を直接の目的とするが、マネジメントの柔軟性の確保と、技術の不確定性の排除においても重要である。ユーザーテストは未知の場所と人で作業を行うため、組織全体が臨機応変に動くことが必要なためである。また、第三者によって技術の完成度が評価されるため、開発担当者はテストを目標に開発を進めるためである。

カテゴリについては、全体管理、技術開発、事務、渉外に分類できる。本 PJ の場合、全体管理はサーパス浅野、東大、産技研の 3 者による定期打ち合わせである。PJ 責任者は筆者であり、東大が技術実務、産技研がスケジュール管理を担当した。3 者の共同によって、緊張感が保たれ、計画を守ることができた。技術開発は、サーパスが行った仕様作成と、東大が行った発電機の製作である。事務はサーパスが行った経費管理と報告書作成である。渉外は、サーパスが行ったパナソニックや青木産業などメーカーとの打合せ、JR 四国などユーザーとの打合せとユーザーテストである。これらの分類は、責任者を明確化できるので、共同研究で重要である。

フェーズとカテゴリによる研究開発 PJ の作業内容の分類は、本 PJ に限らず、中小企業の消費財開発において一般的に成り立つと考えられる。そして、それぞれの分類における課題と成果を評価することで、PJ の進捗管理が出来ると考えられる。そこで本研究では、フェーズとカテゴリによる作業の分類を、研究開発 PJ の共通のモデルとする。次章以後で、他の PJ の事例を導入することで、本モデルを精緻化する。

第3章 提言分析法の提案

前章までで、自身が中心となって実施した開発プロジェクトについて述べ、研究開発のモデルを示した。魔の川を越え、LED 安全靴について死の谷を越えるべく、事業化のためのさらなる改良開発やマーケティングを加速させていく段階である。冒頭で述べたように、大企業でも容易でないこの谷を渡することは中小企業にとってはさらに困難である。本研究の目的は、中小企業における効率的な研究開発手法の一般化であり、本章では、プロジェクトの暗黙知の収集や分析のために収集するデータやその分析についての比較を行う。前章で列挙したような課題を抽出し、評価できるような手法について議論する。

3.1 PDS サイクル WBS によるプロジェクトの評価

本章では南相馬市で実施されたおける 6 件の開発プロジェクト [15] [16]のプロセスの可視化を試みた。各プロジェクトの詳細は付録に掲載する。被災度判定計、歩行支援ロボット、テレプレゼンスロボット、健康提案システム、仮想同居システム、災害情報システムの 6 つの開発プロジェクトである。各担当者レベルで行っていた様々な業務を PDS サイクルの形にまとめて、Work Breakdown Structure (WBS)形式の中に表現することで、開発業務がどのような試行錯誤を経て結実したかを示すことができる。記述を試みたのはプロジェクトが終了してからである、これは、進捗管理よりもプロジェクトのプロセスを分析評価することを目的としていたからである。全体像がわかってからでなければ、因果関係や重要な項目がわからないため、事業の終了を待って記述を実施した。

PDS サイクル [17]とは PDCA サイクルとほぼ同義である。事業活動における様々な管理業務を円滑に進める手法の一つである。Plan (計画), Do (実行), Check (評価), Action (改善) の 4 段階を繰り返すことで業務を継続的に改善する手法である。実務上 Check (検証) と Action (改善) とを同一サイクルとするよりも A (改善) は次のサイクルの P (計画) に含めた方が管理が煩雑にならないため、本研究では PDS サイクルを採用した。

WBS [18]はプロジェクトマネジメントで利用される計画手法の一種である。プロジェクトにおけるタスクを細かい単位に分割し、階層構造などで管理する手法である。プ

プロジェクトの初期に必要なタスクの洗い出しを行い、可能な限り細分化し、それぞれのタスクについて必要なコストや人員を計画する手法であり、その項目はガントチャート (Gantt Chart)などの項目として利用される。図 2.1-1 に WBS の例を示す。

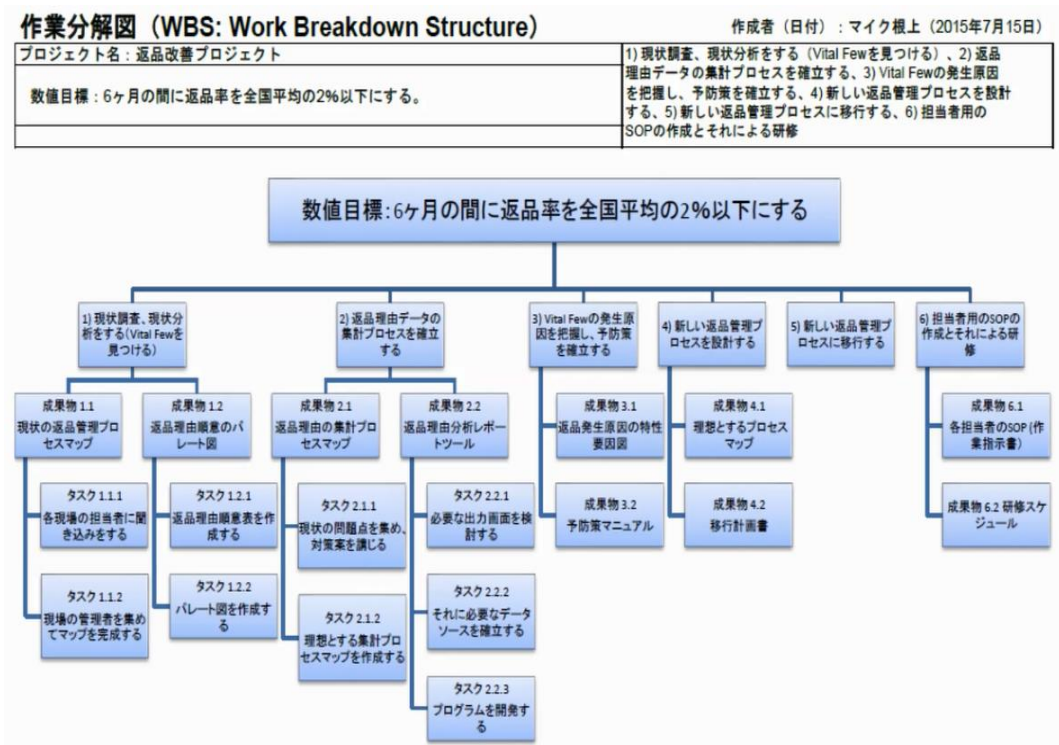


図 3. 1-1 WBS

<http://econoshift.com/ja/wbs-for-time-management/> より引用

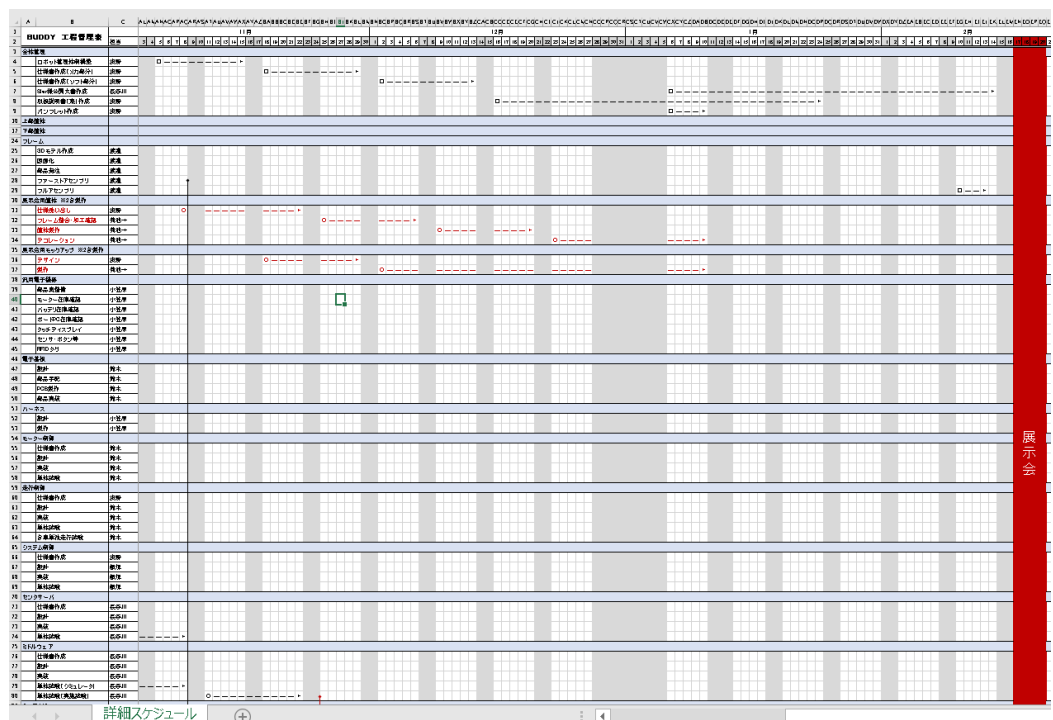


図 3.1-2 ガントチャート

ガントチャート [18]は工程管理に用いられる表の一種で、図 2.1-2 のように作業計画を視覚的に表現するために用いられる。

プロジェクトの進捗状況を表現する従来手法としては、プロジェクトマネジメントの分野でガントチャート用いる方式が定着している。WBS を作成した後にガントチャートを利用してスケジュール管理を行うため、WBS の各項目の前後連関や計画に対する遅れなどが可視化されている。一つの作業項目が遅延した場合、前後連関が明確に示せるこの手法では、どの後工程に遅延が生じうるか一覧できる。しかしながら、ガントチャートで可視化できるのは全体の作業項目と、そのスケジュールと遅延が発生したかどうかという表面的な事実としての結果のみである。プロセスの評価を行うためには、遅延を含む当初計画との差異の原因を分析して抽出する必要があるが、ガントチャートからではそれは困難である。

そこで、ガントチャートのようなスケジュールを管理するための直線的な工程の連関図ではなく、各タスク項目の中でどのような作業を実施したかを連関図の中に記述することを試みた [19]。各作業担当者にヒアリングを実施して収集したデータから、個別の作業を PDS の Plan（計画）、Do（実行）、See（検証）のいずれかに分類をしてまとめることで、各タスク項目が達成までのプロセスが表記できる。

図 3.1-3 は 2 年間のプロジェクトであった歩行支援ロボット・テレプレゼンスロボット・仮想同居システム・災害情報システムについての WBS 項目の達成状況の 1 年目終了時点での一覧である。6 つのプロジェクト全体を通じて、各開発プロジェクトの大きな目的が定められており、それを達成するロボットやシステムを開発するために、各プロジェクトチームがどのような作業を行うかを規定している。これによって、一覧的に状況が確認可能で、各項目の内容を見ることで、次に示すが、それぞれの詳細な分析も可能となっている。緑色は被災度判定計、濃青は歩行支援ロボット、紫はテレプレゼンスロボット、ピンク色は健康提案システム、オレンジ色は仮想同居システム、水色は災害情報システムの、そして黄色は全体に関わるユーザーテスト開催のための現地とのやり取りのタスクを表している。

図 3.1-3 はプロジェクトの初期、計画時に書かれたものである。図 3.1-4 は初年度終了後、ユーザーテスト等を経て項目が追加されたものである。赤枠のものが追加されたものであり、点線に矢印はチーム間で連携して進めることが予定された項目である。

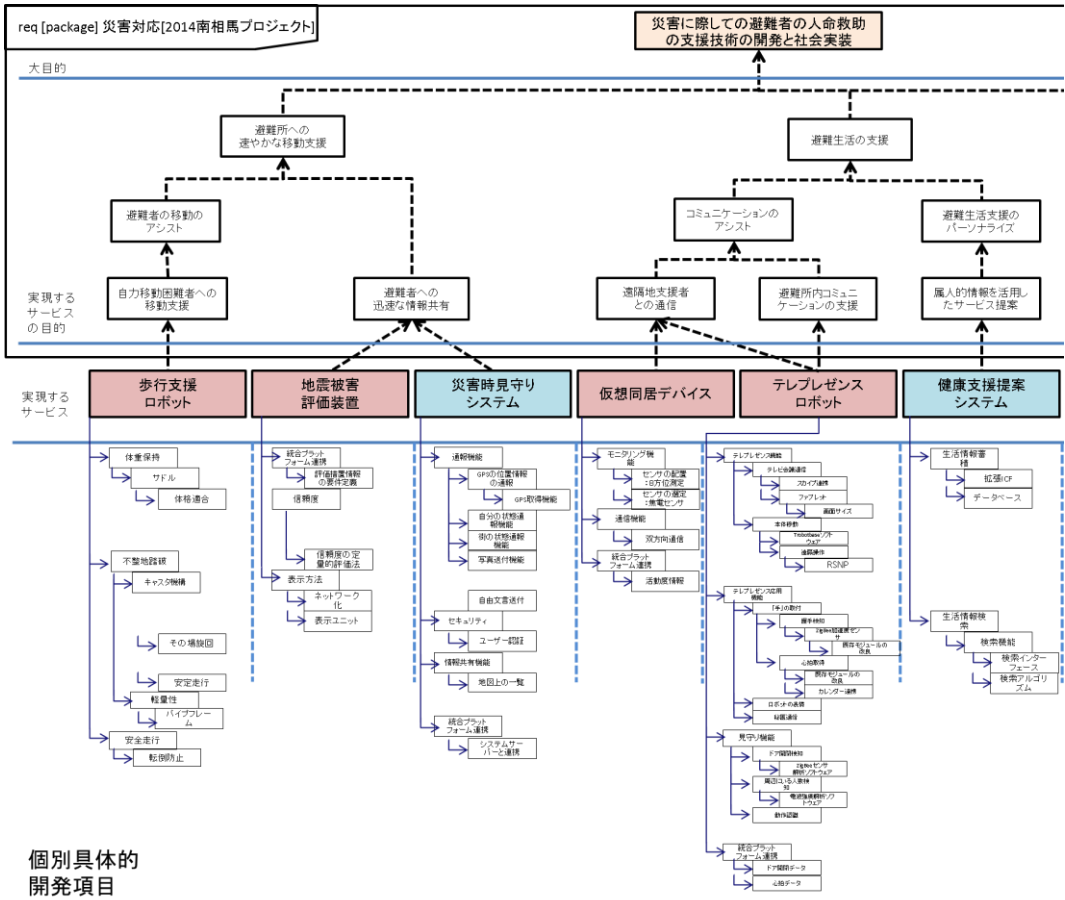


図 3.1-3 6 プロジェクトの初期の WBS

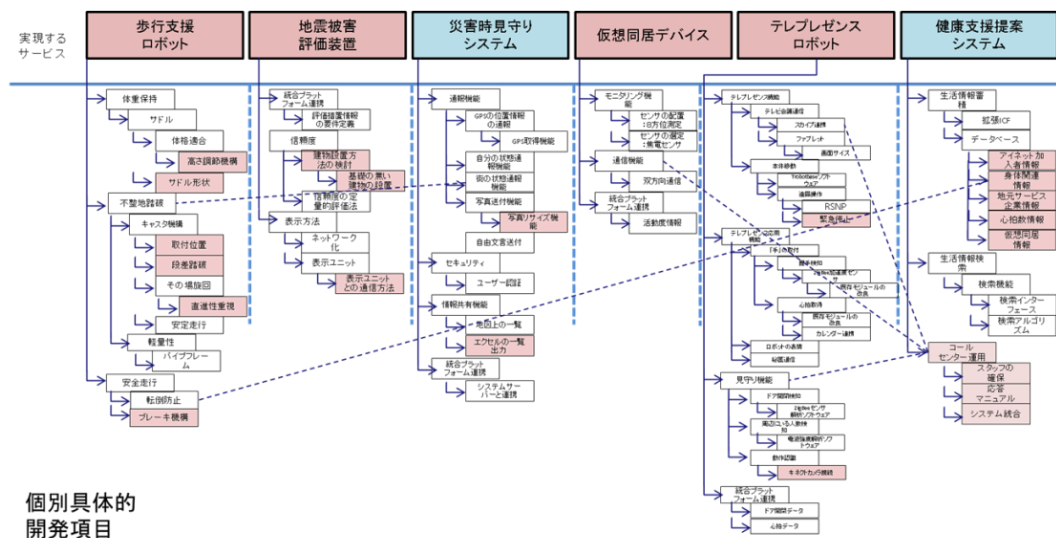


図 3.1-4 ユーザーテスト等によって後に追加された項目を含む WBS

図 3.1-5 は歩行支援ロボットに関する WBS の簡易版である。プロジェクト当初の段階で数値的な目標まで決まっていなかったものも存在する。さらにそもそも項目として定められていなかったものも存在する。例えば、ブレーキ機構についてのブレーキ操作検討などの項目は現場実験の段階で追加されたタスク項目である。かんばん方式の整理方法である。

当初は自転車のような能動的な機械ブレーキング動作を想定していた。これに対して、1)乗降動作時にブレーキがかかっている必要性、2)速度が出ているときの能動的な機械ブレーキでは握力が必要なこと、が現場実験で指摘された。これらが現場実験で初めて明らかになったのは、健康者ではあるが歩行支援ロボットを使用するほど足の健康状態が悪化しているターゲットユーザに対する想定が、開発者のみで構成される実験室では困難なためである。

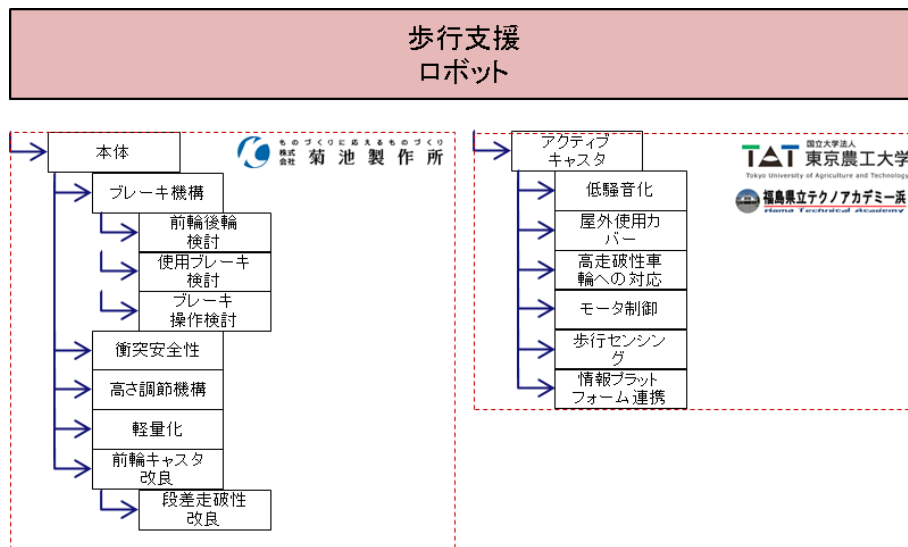


図 3.1-5 歩行支援ロボットに関する WBS 簡易版

これらの WBS 項目それぞれに対して実施された作業項目を関連付けて、達成状況やプロセスの記述を試みた。図 3.1-6 は歩行支援ロボット開発における段差走破性改良のタスク（図 3.1-3 左最下段に示されるタスク）について、どのような作業を経ていったかを記述したものである [20]

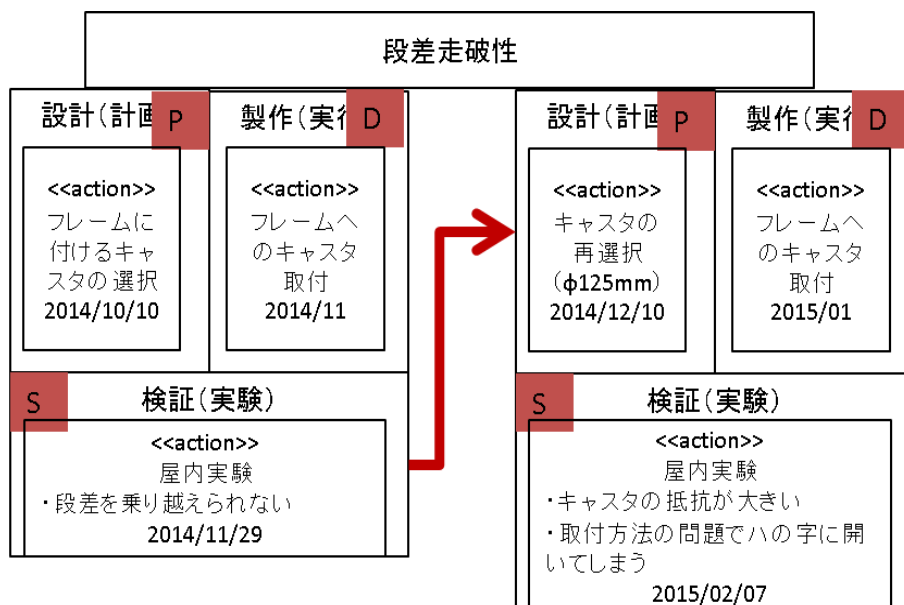


図 3.1-6 歩行支援ロボット Prj の段差走破性改良に関する PDS サイクル

当初から 25mm の段差踏破が要求仕様であったが、最初のサイクルでは要求仕様を満たしえないキャストを選択したため、屋内実験での検証に耐えず、再選択のサイクルを経たためにここで、2 カ月に及ぶ遅延が発生していることが読み取れる。

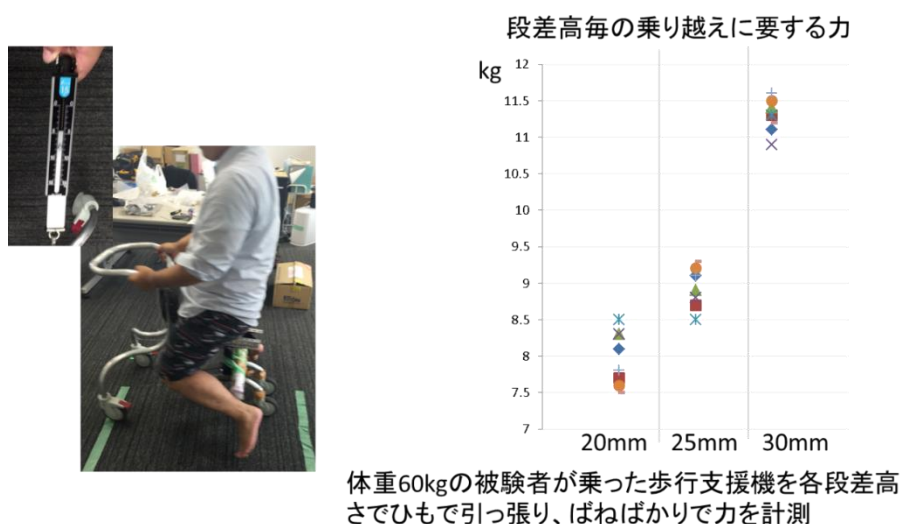


図 3.1-7 段差走破試験の様子

図 3.1-7 は段差走破性能について、基礎実験を行っている様子である。歩行支援機を蹴って進むときの推進力が平均 90N 程度であったことから、ばねばかりで歩行支援引っ張りながら各段差の乗り越えに要する力を計測した [21]。この実験を経て P であるキャストの再選定を 12 月 10 日に実施している。この実験と、キャストの再選定を経た 2015 年 2 月 7 日の屋内試験では、被験者 8 名全員がトイレ等の水回りに存在した 25mm の段差について問題なく乗り越えた。

ただし、この後、車軸が体重を支え切れずにたわみ、キャストがハの字に曲がるなど、構造計算上の欠陥が抽出されたためにこの段差走破性に関するサイクルはこの後も 3 サイクルほど回ることになり、全体として大きな遅延をもたらした。これは仕様に対する不理解や要求仕様自体が甘いことなどが原因であった。

なお、日付の入っていない PDS が存在するのは、これらの情報を議事録や日誌、ヒアリングなどの事後の収集データから再構築しているためである。

WBS は各タスクの論理的関連が一覧性をもって表示できることが利点である。さらに、ガントチャートに比較すると、時系列的な完了状況はわからないが、途中で追加されたものが図 3.1-4 のように赤反転で明示的に記述できることがわかる。しかしながら、情報収集が大変なうえ、各タスク内の作業を読み込んで分析をしなければ、評価をすることは困難である。また、タスク項目はプロジェクト固有のものであるため、一般化できない。

図 3.1-8 は WBS の項目を PDS サイクルの S (検証) まで完了したかどうかを不実行、未完了、完了に分け、そもそもその項目が初期の開発計画で計画されていたものは上段に、開発が進む途中で追加(変更)された項目を下段に整理しなおしたものである。

	不実行	未完了			完了			
初期計画	安全走行	軽量性	遠隔操作	産総研にアライング情報	体重保持	ファブレット	統合プラットフォーム連携	
	生活情報検索	キャスト機構	周辺にいる人数検知	生活情報蓄積	サドル形状	スカイプ連携	評価措置情報の要件定義	
	地元サービス企業情報	転倒防止	Trobotbaseソフトウェア	拡張CF	パイプフレーム	ZigBeeセンサ解析ソフトウェア	ネットワーク化	
	テレプレゼンス応用機能	安定走行	テレプレゼンス機能	検索アルゴリズム	サドル	アイネット加入者情報		
	活動度情報	ドア開閉検知	テレビ会議通信	検索インターフェース	その場旋回	検索機能		
		本体移動	「手」の取付	双方向通信	既存モジュールの改良	心拍数情報		
		RSNP	心拍取得	通信機能	ロボットの表情	仮想同居情報		
		ZigBee加速度センサ	カレンダー連携		心拍データ	データベース		
		置手検知	電波強度解析ソフトウェア		既存モジュールの改良	センサの選定：焦電センサ		
		見守り機能	ドア開閉データ		統合プラットフォーム連携	モニタリング機能		
途中計画	写真リサイズ機能	不整地踏破	緊急停止		直進性	ユーザー認証	街の状態通報機能	華夷会
	建物設置方法の検討	高さ調節機構	セキュリティ		段差踏破	統合プラットフォーム連携	通報機能	共通体験の提供
	共通意識の創出	ブレーキ機構	地図上の一覧		画面サイズ	エクセルの一覧出力	GPSの位置情報の通報	イベントコンテンツ提供
	統合プラットフォーム連携	取付位置			動作認識	情報共有機能	GPS取得機能	現地への融和
	被災度の定量的評価法	体格適合			秘匿通信	自分の状態通報機能	システムサーバーと連携	キーバージョンの発掘
	自由文言送付				キネクトカメラ接続	写真送付機能	信頼度	センサの配置：8方位測定
					表示ユニットとの通信方法	表示ユニット	基礎の無い建物の設置	表示方法

図 3.1-8 WBS 項目の達成状況

この図から、97 あるタスク項目の 51 についてしか、「S (検証)」が完了しておらず、未検証項目が 47% も存在することが判明した。この原因は 2 つあり、単純に検証する時間がなかったタイプのものと、途中でタスク自体が不要だと判断したり、検証までは不要だと判断したものなどに分類できることが、各グループからのヒアリングで判明した。この新規に考案した手法 [19]によれば、週報・ヒアリングベースでの作業項目を WBS のタスク項目に紐づけることで、プロセスの評価が可能になる。かんばん方式や

チケット方式と呼ばれる方式と同様である。

以上示した WBS 分析は、プロジェクト終了後に WBS を分析しているので、従来の PPR の一形態と見ることもできる。WBS 単独でプロジェクトの成否判定ができないことは従来から指摘されていた。しかし、図 3.1-8 と組み合わせてタスクの完了状況を組み合わせた WBS 分析によれば、プロジェクトの進捗の適否がタスクの完了割合として読み取れた。適切な PPR を行えば、プロジェクトの進捗管理ができる可能性が示唆された。

次に、一般化可能で細部までデータを読まなくても評価可能なプロセスの記述手法について検討を行った。

3.2 経費支出評価

一般的に使用可能なデータとして経費支出のデータが存在する．これらは必ず経理データとして残るものであって入手が容易で，一般性もある．下図は経費一覧と，費目ごとの支出について，6つのプロジェクトの合計を時系列に示したものである．本プロジェクトの2年目はデータが未公表のため，図3.2-1は1年目のみを表す．経費支出の評価は従来のプロジェクトマネジメントではコストマネジメントとして広く使用されており[文献]，プロジェクトを予算内で完了させるために必要なコストの見積もりや予算設定、コントロールの活動である．本研究では，設定された予算の消化率からプロジェクトが予定通り進行しているかどうかをチェックできないか、分析を行った．

グループ	月	日付	科目	項目	金額
菊池製作所		5	会議等開催費	さくらホール 使用料	25278
菊池製作所		1	旅費	現地実証実験のためのプレゼン	15,685
菊池製作所		2	旅費	南相馬市社会実験	27,509
菊池製作所		2	旅費	南相馬市社会実験	35,333
菊池製作所		5	旅費	南相馬市社会実験第2回	24,000
菊池製作所		5	旅費	南相馬市社会実験第2回	44,800
菊池製作所		0	消耗品費	アクティブキャスト用機構部部品加工	242,600
菊池製作所		0	消耗品費	両端めねじ付シャフト	3,000
菊池製作所		0	消耗品費	歩行器機構部材溶接加工	23,000
菊池製作所		0	消耗品費	歩行器試作用材料	51,000
菊池製作所		0	消耗品費	災害避難用歩行支援機用組立治具	1,800
菊池製作所		0	消耗品費	災害避難用歩行支援機用組立治具	44,900
菊池製作所		0	消耗品費	災害避難用歩行支援機バネ	5,910
菊池製作所		0	消耗品費	災害避難用歩行支援機ネジ	8,695
菊池製作所		0	消耗品費	災害避難用歩行支援機治具	32,210
菊池製作所		0	消耗品費	アクティブキャスト用楽ウオーク試作機	850,000
菊池製作所		0	消耗品費	災害避難用歩行支援機部品	20,400
菊池製作所		0	消耗品費	学習椅子	12,330
菊池製作所		0	消耗品費	キャスト	17,940
菊池製作所		0	消耗品費	災害避難用歩行支援機部品2	231,000
菊池製作所		0	消耗品費	インパクトドライバー	641,280
菊池製作所		0	消耗品費	3次元ジョイスティック	71,400
菊池製作所		0	消耗品費	モータ	25,800
菊池製作所		0	消耗品費	アクティブキャスト用機構部部品加工2	622,040
菊池製作所		0	消耗品費	歩行器機構部材溶接・組立	67,000
菊池製作所		0	消耗品費	アクティブキャスト用楽ウオーク試作機	515,000

図 3.2-1 経費一覧 抜粋

図 3.2-2 は費目ごとに時系列での支出状況を表したものである．これによって，然るべき時期に然るべき支出がされているか確認ができ，作業内容の推定ができる考えた．

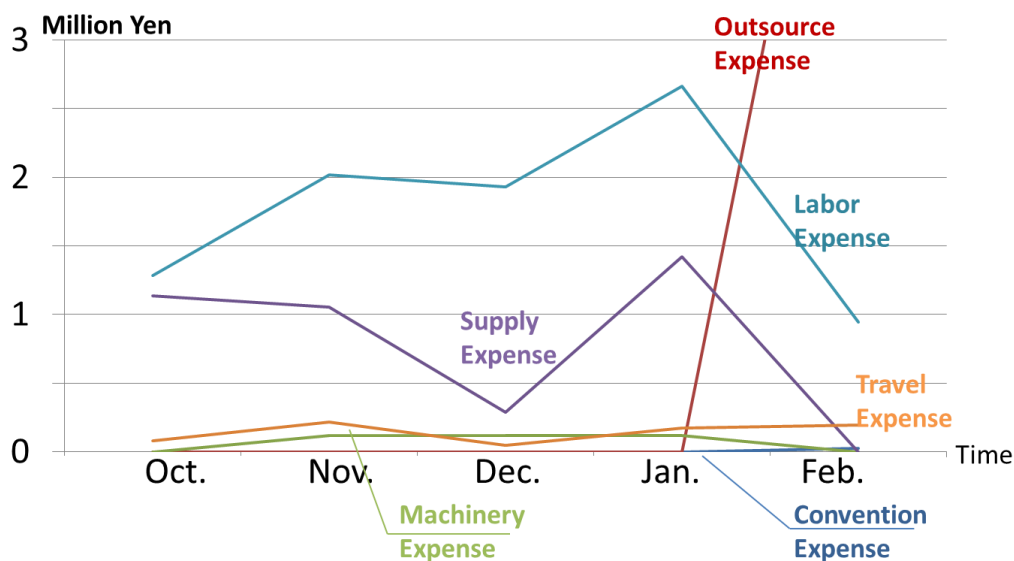


図 3.2-2 プロジェクトの時系列経費支出

ユーザーテストが行われたのは1月であるため、その月に人件費や消耗品費が増えていることが読み取れる。外注費などは完成納品後支払いのため多くは期末に集中し、意味の読み取れるデータとなっていない。

一時期の集中支出や過大な支出など、明らかな不適切処理の有無は判断できるが、プロジェクトが的確に進捗したかは判別できない。これは、経費報告に内容が紐づけられていないため、ユーザーテストの実施規模や技術開発の完成度が判断できないためである。経費の費目は多くの補助金や委託研究の事務処理マニュアルで人件費、材料費（消耗品費）、外注費、旅費等のおおざっぱな項目が設定されているに過ぎない。これだけでは、具体的な作業内容の推定は不可能である。原理的には開発者にタグ付けを義務づけることも可能である。もし適切な分類でタグ付けを行えば、月ごとにリアルタイムでの進捗管理が行える可能性がある。ただし、事務作業が煩雑化する上、正しくタグ付けされる保証はなく、現状では第三者が支出状況からプロセスの記述をすることは難しい。

3.3 工数による評価

次に工数を使つての記述を試みた．工数（人数×稼働日）もまた同様に一般性を持つデータである．補助金事業の場合には業務日誌等の提出義務を課していることが多いため、評価側は入手も比較的容易なデータである．笹尾らは、ODA の事例をではあるが、開発プロジェクトの管理にタイムマネジメント、すなわち稼働量のマネジメントが重要であるとしている． [22]

ここでは詳細な分析を行うために分類を導入した．フェーズ（段階）、種別、原因の 3 つのタグである．フェーズは {準備段階、実施段階、検証段階、実装段階} であり、種別は {技術、運営、参加者、検証、制度} である．また、課題の発生原因は {国・自治体等の制度上の課題、ステークホルダー間の利害調整上の課題、普及等にあたっての効果/課題、ユーザーテストの技術的な課題、グループ間の連携、地域・気候・生活習慣の制約} である．このタグは稗方らの研究で使用されたタグと同一のものである．これらのリストから、各 1 個の項目を選択する．この分類は業務日誌の業務内容から筆者が判断して分類を行った．図 3.3-1 はタグをつけた業務日誌のまとめである．

日付	時間	名前	内容	フェーズ	種別	想定原因
12月11日	5:00	山根	避難アシストロボット形状変更案の検討	実施	技術	社会実験の技術的な課題
12月15日	5:00	山根	避難アシストロボット形状変更案の検討	実施	技術	社会実験の技術的な課題
12月18日	5:00	山根	避難アシストロボット治具検討	実施	技術	社会実験の技術的な課題
12月26日	5:00	山根	避難アシストロボット治具図面作成	実施	技術	社会実験の技術的な課題
1月6日	5:00	山根	歩行補助内容検討	実施	技術	社会実験の技術的な課題
1月7日	6:00	山根	歩行補助内容検討	実施	技術	社会実験の技術的な課題
1月14日	5:00	山根	避難アシストロボット フレーム組立	実施	技術	社会実験の技術的な課題
1月19日	5:00	山根	避難アシストロボット フレーム組立	実施	技術	社会実験の技術的な課題
1月20日	4:00	山根	避難アシストロボット 実験内容検討	実施	技術	社会実験の技術的な課題
1月26日	5:00	山根	避難アシストロボット 実験内容検討	実施	技術	社会実験の技術的な課題
1月27日	6:00	山根	避難アシストロボット 実験準備	実施	運営	グループ間の連携
10月10日	3:30	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
10月14日	7:45	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
10月24日	7:45	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
10月30日	7:45	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
12月1日	7:45	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
12月10日	7:45	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
12月17日	7:45	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
12月26日	7:45	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
1月5日	7:45	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
1月16日	7:45	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
1月21日	7:45	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
1月26日	7:45	張博	実験装置の改良設計	実施	技術	社会実験の技術的な課題
11月17日	7:45	石倉優	避難アシストロボット組立	実施	技術	社会実験の技術的な課題
2月2日	7:45	石倉優	歩行支援機用部品加工	実施	技術	社会実験の技術的な課題
2月3日	7:45	石倉優	歩行支援機組立	実施	技術	社会実験の技術的な課題

図 3.3-1 歩行支援機ロボットの従事内容とタグ付け例

フェーズについて詳細に説明する．準備段階はユーザーテストの準備だけでなく、全

体の開発計画やコンセプトを立て、開発品の試作を行う段階である。補助金事業では提案書の作成や、予備的な開発も含む。実施段階はユーザーテストを行う段階、検証段階はユーザーテスト結果を分析し事業化判断を行う段階、実装段階は商品開発の段階である。

種別について詳細に説明する。技術はハードウェアソフトウェアを問わず技術開発に関する事項を示す。運営は全体管理や契約・法務・経理など所謂管理業務である。参加者は参加者集めのための広報や住民組織、自治体との交渉などである。検証はユーザーテストや開発内容の検証、制度は法規制や倫理規定への対応である。

原因は、間接的な理由、遠因となったものを含む。「種別」にも「原因」にも「制度」に関するものがあるが、制度によるユーザーテストへの制約のうち、製品そのものに対する制約を「種別」とし、それ以外を「原因」とする。例えば、歩行支援ロボットにおいて、道路交通法の規制を受けるので警察に届け出を行うという作業は、種別として制度に分類される。補助金の助成期間が秋から冬の間のため屋外実験に防寒対策を行ったという作業は、種別は運営であり、原因は制度である。

図 3.3-2 は、業務日誌に示される工数を、フェーズと種別ごとに時系列で示したものである。分類項目は、作業内容の記述から推定した。このデータも一年目のみのデータである。第 1 回ユーザーテストの前に準備のピークがあり、その後に検証のピークがあり、ユーザーテストについては適切な作業が行われたことが分かる。本プロジェクトでは存在しないが、明らかに不適切な作業があればその抽出も可能である。

しかし、プロジェクト自体の進捗、すなわちタスクの完了・未完了および未完了の原因は評価できない。これは、かけた時間と成果が比例しないためである。例えば、プロジェクトの計画時には 100 時間開発にかければ技術開発が終わる、といった見積もりを行うが、100 時間ただ時間をかければ成果が出るわけではない。また、提出義務のある業務日誌には、「試作機の耐久性評価」のような簡単な記述しかないため、フェーズと種別の分類は不正確であり、原因の分類は不可能である。原因が組織にあるのか、技術的な課題にあるのか、外部環境にあるのか、などは詳細な作業内容や振り返りがなければ評価できない。

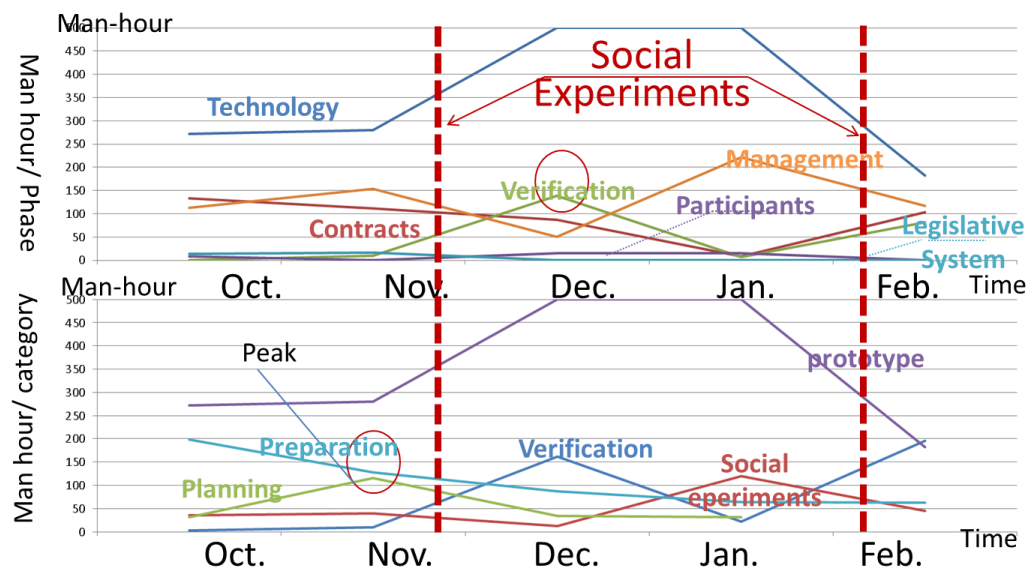


図 3.3-2 6 つのプロジェクトの工数の時系列評価

3.4 提言法による可視化

ここまで経費支出や工数による記述を試みた。経費支出や工数などの指標は成果と比例しないため、稼働量と成果の合計（以下、有効作業量と呼ぶ）を表す新たな指標が必要である。そこで、議事録などに蓄積されているデータに着目をした。稗方らは新技術のユーザーテストについて、特定地域での実験成果を他地域展開するための提言数が評価指標になるとしている [23]。他地域展開のための提言とは、同種のプロジェクトを環境条件の異なる別の地域で行う際に、参照すべきノウハウのようなものを提言としてまとめたものである。同研究の中では、1)提言をユーザーテスト事例として蓄積をし、データベース化することで知見として有効活用できること、2)提言自体を分類しておくことでプロジェクトの傾向が見えてくること等を報告している。

近年のインターネット通信販売業界では、口コミを中心とした情報発信の数や、その個人の評価を蓄積し、コンテンツの評価指標とする手法が定着している。Amazon のように総合評価とコメントのみを記載するものもあれば、価格 com を中心に細分化された項目について評価を行う手法もある。提言法はこうした過去の他者の評価を現在の評価指標とする点で近い。レビューに対する評価指標の自動付与についての研究も進展しており、総合評価のみならず、文中の語彙等から評価軸を自動構築する研究も存在する。主観的なレビューを多く集めることで客観性を持たせることはこうした手法では前提となっている。提言は現在のプロジェクトに対するレビューであり、件数を蓄積していくことでプロジェクトの評価指標となると考えられる。

稗方らが蓄積した提言は 2.1 で記述した PDS サイクルのうち、成功したものを短文で記述したものに類似している。PDS サイクルが終了したということは課題を一つ解決したことに等しく、その中で得られた経験知が提言そのものだからである。そこで、PDS サイクルで示した作業、議事録に蓄積されている、あるいはヒアリングによって入手した提言を作成した。提言文は、概ね各フェーズの終了時に、作成するよう開発者に依頼をした。提言文が出された後、ヒアリングにより、誤記の修正、重複する提言の削除、フェーズ・カテゴリ・ファクタの分類分けを行った。分類については後に詳細に分析をするが、実用化開発プロジェクトのスコープに沿うように新たな分類手法を導入した。

表 3.4-1 に本章で使用する提言の分類法を示す。

表 3.4-1 新たな提言分類法

カテゴリ	国際標準職業分類 (経済指標)	全体管理，技術開発，事務，渉外
フェーズ	厚生労働省ガイドライン (標準フェーズモデル)	計画段階，実験室段階，現場実験段階，ユーザーテスト段階
ファクタ	リスク分類 RBS (プロジェクトマネジメント)	外部要因，技術要因，管理要因，内部要因

カテゴリとして，ILO による国際標準職業分類 ISCO-08 Structure and preliminary correspondence with ISCO-88 [36]の大分類から農林業など明らかに不要な作業を排除したものを採用する．具体的には{全体管理(Management)，技術開発(Development)，事務(Administrative)，渉外(Public Relation)，その他(Others)}とする．

フェーズに関しては，厚生労働省のモデル [37]や先行研究 [38]で提案されてきた段階的なフェーズモデルであるフェーズ0からフェーズ3を利用し，計画段階(Planning)，実験室段階(Laboratory)，現場実験段階(Field Test)，ユーザーテスト段階(Social Experiment)と分類する．厚生労働省は，これらの後に商品化と販売後のフォローアップを定めているが，ユーザーテストまでの分析には不要なため除外する．

ファクタは，どのような課題に基づいて発生した提言か，という観点の分類である．プロジェクトマネジメントにおける標準的なリスク分類 RBS (Risk Breakdown Strucutre) を用いる．①外部(External)，②技術(Technological)，③管理(Project Management)，④内部(Internal)である．

6つのプロジェクトで，103個の提言を収集できた．歩行支援ロボットに関連する4件の提言例を表3.4-2に示す．なお、6つのプロジェクトの内容は次章に説明する．

表 3.4-2 歩行支援ロボットに関連する提言の例

提言	フェーズ	種別	原因
道交法により走行速度の上限が規制されるので、管轄警察に事前に届け出を行っておく	準備	制度	制度
補助金の助成期間が秋から冬までのため、屋外実験に防寒対策が必要だった	準備	運営	制度
社会実験は全グループ共同実施のため、SysML 要求図により他グループの課題を理解しておくべき	準備	運営	連携
高齢者に紙のアンケートを行ったところ文字が読めないとの苦情があった。ヒアリングが望ましい	実施	参加者	社会実験

まず、本プロジェクトと他プロジェクトの提言のフェーズ分布を比較した。図 2.4-1 は先行研究で事例として取り上げられている「明るい低炭素社会の実現に向けた都市変革プログラム」[24]（以下、低炭素）と 6 件のプロジェクトとの提言のフェーズの分布を示したものである。

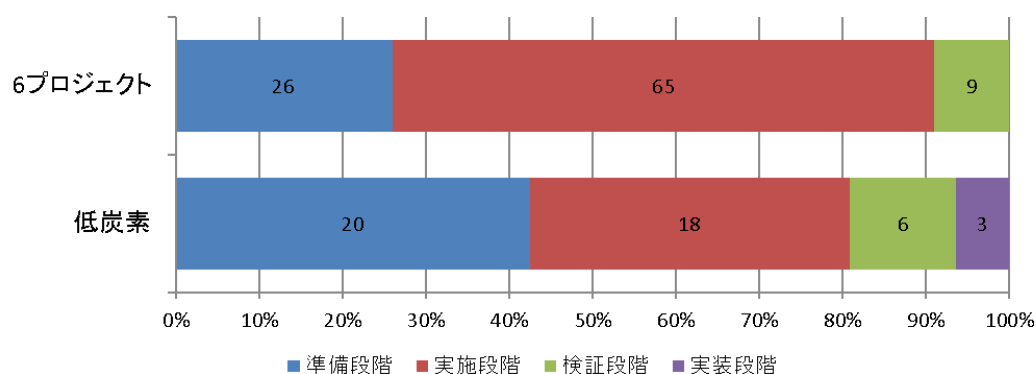


図 3.4-1 南相馬 6 プロジェクトと低炭素プロジェクトの比較

図 3.4-1 から低炭素は準備と実装が多く提言が広範に分布し 6 プロジェクトは中期段階に固まっていることが読み取れる。これは低炭素が基礎研究から即実装のテーマまで含む長期プロジェクトであるのに対し、6 プロジェクトは短期の既存技術改良のみだからである。他地域展開の提言数が、プロジェクトの目的と特性を反映することが確認できた。

ユーザーテストに至ったプロジェクトとそれ以外のプロジェクトの差を次以降で確認する。

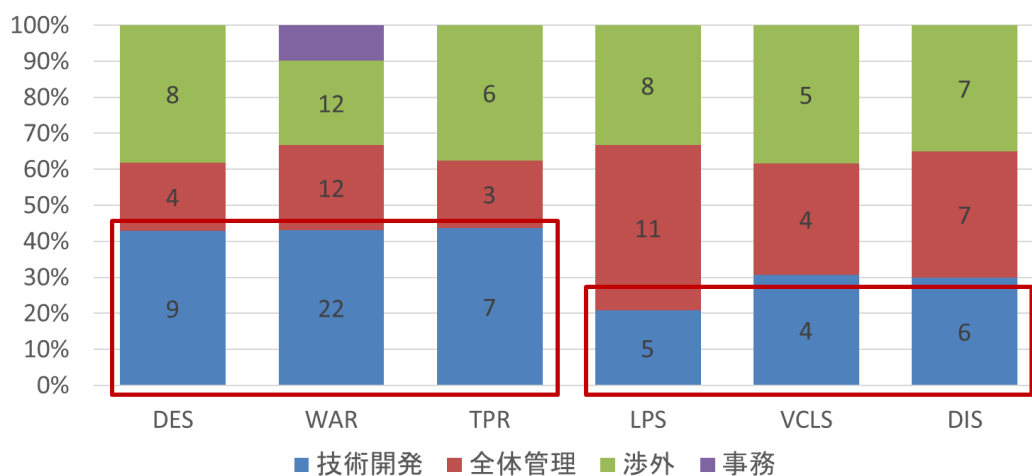


図 2.4-6 6 プロジェクトのカテゴリごとの提言比率

図 2.4-6 は 6 つのプロジェクトの提言をカテゴリ別に分類したグラフである。ユーザーテストに成功したプロジェクトは技術開発カテゴリが多い、すなわち技術開発に集中できた傾向にあることが読み取れる。実用化プロジェクトの本旨は技術開発であり、本来管理や渉外業務は少なく、技術開発に集中できたほうが良い。プロジェクトが柔軟に運営され、技術開発に集中できたプロジェクトがユーザーテストに至る可能性が高いことはプロジェクトマネジメントの分野ではよく知られている。

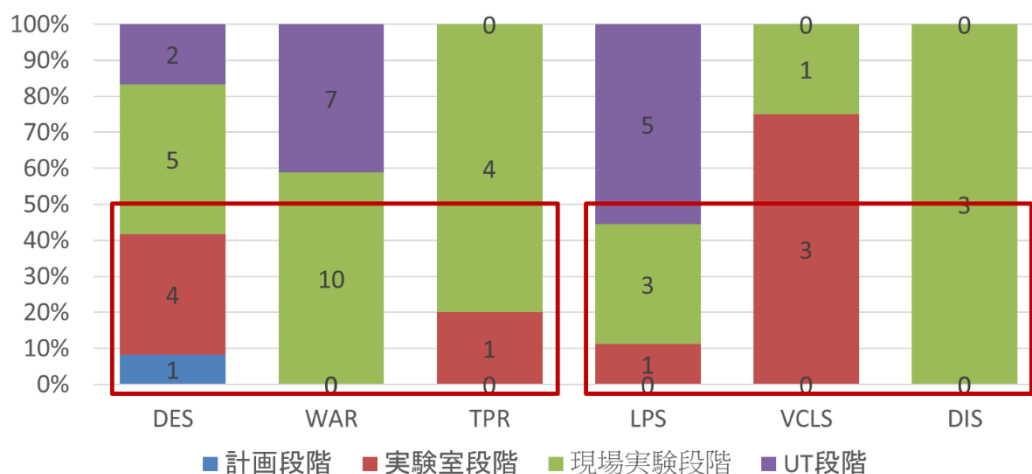


図 2.4-7 6 プロジェクトのフェーズごとの外部ファクタの比率

図 2.4-7 は外部ファクタを各プロジェクト、どのフェーズに存在するかを示したグラフである。ユーザーテストに成功したプロジェクトは外部要因がより早期に集中し、早くからニーズの把握に努めていることが読み取れる。

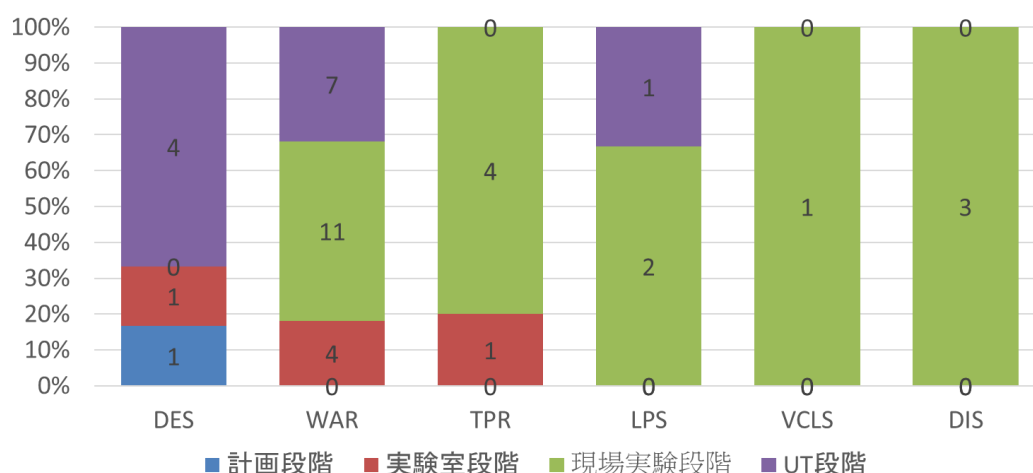


図 2.4-8 6 プロジェクトのフェーズごとの技術ファクタの比率

図 2.4-8 は技術ファクタのフェーズごとの比率である。ユーザーテストに成功したプロジェクトは技術要因がより各フェーズに分散する傾向にある。付け焼刃の開発ではなく継続開発をしており、段階的に技術完成度を高めていっていることが示されている。

以上の傾向をまとめると、ユーザーテストに成功したプロジェクトは 1)全体を通して技術開発に集中し、2)早期からニーズの把握に努め、3)一時期に集中せず継続的に開発を実行しているといえる。これらをシステム設計・プロジェクトマネジメント分野のキーワードに置き換えると、1)技術開発に集中できるよう柔軟なプロジェクトマネジメントを実施し、2)ニーズの不確実性を早期に潰しながら、3)技術開発の不確実性を段階的に減らしているといえる。

以上から、プロジェクトの成否は、1)技術開発に集中できる柔軟なプロジェクトマネジメント、2)ニーズの不確実性の早期の解決、3)技術開発の不確実性の段階的な解決、で判断できる。

3.5 提言分析法のステージゲート法への応用

以上の検討結果をもとに、他地域展開の提言データベースを、ステージゲート法 [25] [26]に適用する一般的な方法を示す。ステージゲート法は、プロジェクトを複数のステージ（フェーズに相当）にわけ、それぞれのステージの最後にゲートと呼ばれる評価を行い、1)次のステージへ進める、2)もう一度同じステージを繰り返す、3)プロジェクトの中止という判断を行うことで、進捗を管理する手法である。国の補助金事業の中間評価などで使われる手法である。

提言分析法によるステージゲートは、図 3.5-1 のようになる。本プロジェクトでは既存技術を活用したため、ユーザーテストのみを対象に分析したが、一般の開発では研究段階も含むため、これを先頭に追加している。

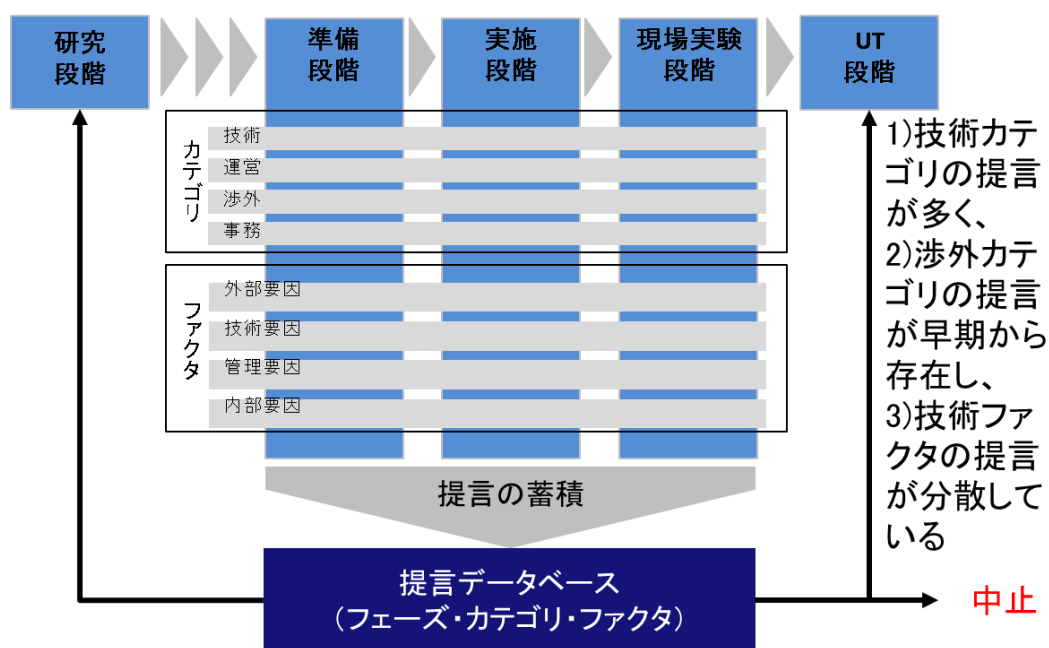


図 3.5-1 ステージゲート法への応用

他地域展開のための提言を研究開発、準備、実施、検証に分け、それらの提言数を求め、適切な補正をかけた上で、すべてのフェーズの提言が存在すれば、ユーザーテストまで正しく実行されたと判断する。商品化段階へ進めるかどうかの目安は以下である。1)技術カテゴリーの提言が多く、2)渉外カテゴリーの提言が早期から存在し、3)技術ファクタの提言が分散している

3.6 結論

本章では、避難支援ロボットの6つの開発プロジェクトを対象に、プロジェクトの記述・分析法を複数試みた。記述・分析結果を実際の進捗および事業化状況と比較し、他地域展開のための提言数の分布により、プロジェクトの進捗度と課題、商品化段階へ進む可能性、ステージゲート法における中止/継続の判断の目安が得られることを示した。また経費支出と工数は、現状ではフェーズ、種別、原因と紐づけされていないため、分析評価は難しいことが分かった。PDS サイクル WBS は詳細な作業分析が可能であるが、情報収集が困難なうえ、各タスク内の作業を読み込んで分析をしなければ、評価をすることは困難である。また、タスク項目はプロジェクト固有のものであるため、一般化できない。

表 3.6-1 は本章で試みた手法の比較をまとめたものである。

表 3.6-1 プロジェクトの可視化・評価手法まとめ

	可視化	詳細 分析	情報 入手	一般化 可能性	得られる分析
PDS サイクル WBS	○	○	×	×	個別タスクの完了状況 途中での追加タスク 遅延等の理由 プロジェクトの課題
経費支出	○	×	○	○	明確な不正支出の有無
工数	○	×	○	○	作業投入の適切性
提言	○	○	△	○	プロジェクトの課題 ステージゲート判断 ユーザーテスト到達

本研究の目的は中小企業における消費財研究開発の評価方法の提案である。

PDS サイクル WBS は得られる情報量が多いが、情報入手が困難で、WBS 自体がプロジェクト固有のものである以上、一般化が困難である。経費支出や工数は情報入手は容易だが、分類が大きすぎるために詳細な分析に至らない上、投入資源と成果が必ず

しも比例しないことから、必ずしも実情を反映しない。提言の分析は情報の入手は多少手間がかかるが、プロジェクトの課題を抽出できる点で十分な分析が可能である。

中小企業の新市場開拓は、大企業に比べ、共同開発が多い。これは人員不足、特に企画と販売の人員不足による。この結果、プロジェクトの進捗管理が難しい。萌芽技術は成熟技術に比べ、プロジェクト管理手法が整備されていない。これは暗黙知が多いためである。また多産多死の傾向があり、簡便にプロジェクトの成否を判定する手法が必要である。

これらの課題の解決をして死の谷を克服するには、ユーザーテストによる技術とニーズの検証が有効である。また、知識を簡便にデータベース化する手法が望まれる。本章では提言分析法によってプロジェクトの評価ができることを示した。

第4章 提言と各事例の分析

前章ではプロジェクトの記述・分析を行うために、短文形式で収集される提言について、その種別やカテゴリ、要因を分析することが一定程度有効であることを示した。本章では、これに基づき、提言分析について、冒頭第二章のスマート安全靴を含めた10のプロジェクトについて、提言の収集と事例分析を行った。

4.1 収集方法

本項目では、提言の収集方法について述べる。

提言は、概ね各フェーズの終了時に、開発者が作成した。提言が出された後、筆者が提言を読み、記述の誤りがあればヒアリングにより修正した。

従来の技術マネジメント手法は定型的な技術管理（スケジュール管理や QC 活動など）を対象としていた。新たな技術開発を対象とするものもあるが、成功を前提とする大規模プロジェクト（ソフトウェア開発など）を対象としていた。リスクの高い研究段階のマネジメント手法は暗黙知とされ、定型的な手法はなく、研究例も少ない。内平は大手電機メーカーにおける研究開発事例を詳細に分析している [11]。プロジェクトの節目で開発担当者が振り返り（フェイズレビュー，PHR）を行い、出された意見を短文で残す方法が一般的としている。またマネジメントノウハウの継承方法として、プロジェクト終了後に、開発担当者に本社の企画担当者を交えたメンバーで振り返り（ポストプロジェクトレビュー，PPR）を行い、PHR も考慮して、プロジェクト関係者以外にも理解できる形で、物語形式でプロジェクトの反省点をまとめるのが良いとしている。これらでは、PHR,PPR の情報をすべて読むか、あるいはファシリテータと呼ぶ専門の分析者が主観で PPR を選び、開発担当者に提示する方法をとっている。

提言分析は PPR（ポストプロジェクトレビュー）の一種であるので、まず、各プロジェクトを物語形式で PPR を記述した。文献 [11]にあるように、物語形式とすると、第三者が見ても分かる情報となる。しかし作成の作業負担が大きい。実際これらのプロジェクトでは、提言は担当者から集めることが可能であったが、物語は筆者が作業しなければ誰も作らなかった。また、物語の著者によって重要な提言が漏れることがあり、他のプロジェクトとの定量的な比較も行えない。

4.2 マッスルスーツ

マッスルスーツは東京理科大の研究成果をもとに株式会社イノフィスが製品化を行った電力を使用しない腰の補助具である。人や重い物を持ち上げるとき、中腰姿勢を保つときに腰の動きをエアを充てんした人工筋肉によってサポートする機械である。



図 4.2-1 マッスルスーツの概要

株式会社イノフィス製品概要ページより

<https://innophys.jp/product/standard/>

マッスルスーツ開発のプロジェクトで出された提言を詳細に説明する。マッスルスーツプロジェクトでは、21件の提言が出された。本プロジェクトには筆者は直接参加しておらず、ヒアリングも2018年に12月に実施したため、2006年から開発が長く行われているにもかかわらず、収集できた提言は少数にとどまっている。これは、関係者がすでに忘れていたためである。マッスルスーツの詳細は付録に掲載する。

マッスルスーツのプロジェクトで出された提言を抜粋する。

{“安全仕様も機能仕様も上流工程である計画段階で積み切るべきであり、この段階で想定顧客と話ができていなければ、仕様はまったく完成しない。想定顧客と機能についてだけでなく、使用する環境などについても打ち合わせをすべき”}

この提言は、実験室段階で理科大のプロトタイプを改良して現場実験に利用できるレベルまでブラッシュアップした開発責任者の提言である。特に企業として最優先課題となるのは安全性の問題である。人が使う機器、特に管理者いない倉庫などで使う機器では安全性を欠いては、却って損害をあたえるプロジェクトになってしまうため、ものづくり担当として安全性についてことさら意識した提言となっている。持ち運びやすい部位に手をかけると金具で指を挟む構造になっており、社内でも事故にはならなかったが、指を挟むスタッフがいた。持ち運びをして使用することが当然想定されたためにこの点は改良された。こうした安全仕様についても、現場実験として社外に出す段階までに盛り込んでおく必要がある。

{“想定される正常な使い方以外の、過誤的使用方法についても検討をし、対策を打つ必要がある”}

マッスルスーツのプロトタイプは、体をひねる動きをすると想定外の負荷が体にかかるような構造になっていた。リスクアセスメントを初期段階からしっかりと行い、過誤的な使用をされたとしても、安全性が保たれるような仕掛けを盛り込んでおく必要がある。

{“実際のユーザーを捕まえる段階には企業の体制として上市后まで責任を持つ責任経営者を据えるべき。この人間が途中で交代するとプロジェクトが振出しに戻る”}

企業である以上、内部での配置換えは当然起こることであるが、実用化開発プロジェクトにおいては、全体像とこれまでの開発経緯などの把握が重要であり、トライ&エラー、想定顧客との交渉などを含めたすべての事項が完璧に引継ぎができるわけではない。途中でリーダーを変更したことで様々なマイナスの影響が出てしまったことでこの提言が出された。マッスルスーツでは、こうした技術、すなわちシステム設計の分野に該当する提言が多く出された。

4.3 被災度判定計

被災度判定計は、株式会社ミサワホーム総合研究所によって製品化された建物の基礎に設置した震度計と当該建物の構造設計図から、地震が起きた際に建物が受けた揺れをもとに建物の被害状況を推定するシステムである。

開発理念 研究テーマ 受託業務 企業情報

実現し、モバイルコンピューティング推進コンソーシアム（MCPC：会長 安田靖彦）が主催するMCPC award 2015の「モバイルテクノロジー賞」（ユーザー部門）を受賞しました注1）。また2016年にはグッドデザイン賞を受賞しました注2）。

図1 被災度判定計「GAINET」の概要

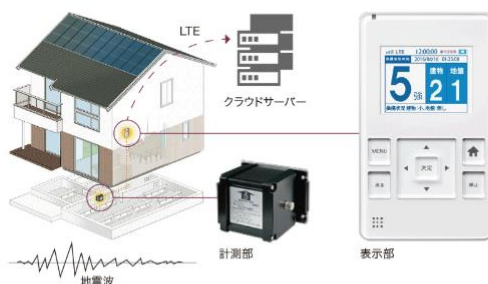


図2 防災ネットワークの仕組み



図 4.3-1 被災度判定計の概要

ミサワホーム総合研究所製品概要ページより

<https://soken.misawa.co.jp/news/20190304/196/>

被災度判定計 [27]のプロジェクトで出された提言を詳細に説明する。このプロジェクトでは 21 個の提言が出された。

{“被災度判定計をもとに避難誘導を行って、仮に誤った情報で人命が失われた時の責任の所在について指摘があった。人命がかかわる情報について責任を 1 企業がとること

は難しい,莫大な損害賠償が発生する. 避難誘導との連携を中止した”}

この提言は, 事業責任者から出された. 避難支援としての被災度判定計による危険ルート, 安全ルートの予測というビジネスモデルを検討していたが, 避難誘導についての法的リスクの課題に直面し, 建物の個別の安全性の確認というニーズへの転換を図った. 商品化も同じコンセプトで実現された. 満たそうとするニーズの変更は, プロジェクトスコープの変更に他ならず, プロジェクトマネジメントの領域を超えた判断がなされることになるが, 本プロジェクトの場合には, この転換により新たなニーズを満たすためのサービスモデルに必要な開発にリソースを投入することができ, 商品化まで到達した.

{“仮設住宅は基礎がしっかりしていないので, 通常よりも大きく震度が表示されてしまう. .設置場所や方法によって評価が左右される,震度計として不適切な数字が出てしまう. ソフトウェアで震度を抑えるように最適化した,通常は仮設住宅には取り付けないので,それ以上の対策は取らなかった. 実際の仕様を想定したところのみに設置する”}

実験室段階でサービスの変更はすでに決定されていたが, ユーザーテストの相手先は決まってしまうために, スケジュールに基づいて実験を実施した. しかし, 最終想定したサービスの環境とプロジェクト当初に想定していたサービスの環境が異なるため, 多少のカスタマイズが必要であったが, そのカスタマイズについては今後必要となることは想定されなかったため簡易的な対象にとどめた. リソースの配分に関する提言である.

{“通信回線を使用する契約の際に, データについての権利ももっていかれてしまったため, 自由にデータを利用することができなかった. データの権利について, 試作をもとにしたデータ利用が困難だった. データサーバーの会社が通信会社と秘密保持契約を結び, データ利用にも大きな制限をかけた. 研究開発段階のデータについて, 自由に利用できるような仕組みにしておく”}

契約についての提言である. 現場実験での通信設備が必要であったために協力を依頼したが, 費用の問題などで通信会社に有利な契約内容としてしまった. このためにデータの権利が得られずに開発が難航した. 協力会社ではあっても, 権利関係についてはプロジェクトに参加させる前にプロジェクトにとって最善となるように契約を結ぶ必要がある. この提言は自明に見えるが, 深刻である. 大部分の人にとって自明でも, 一人でも理解しない人がいると, プロジェクト全体が破たんする例である. 共同開発, 特に, 産学連携で生じやすい誤解である. 今回は PPR に含めたが, 物語 PPR では, 著者にとって自明であれば, 漏れる可能性もある. 単純に提言を列挙すれば漏れる危険はない.

4.4 運搬ロボット

運搬ロボットは、SOCIAL ROBOTICS 株式会社が商品化を目指す屋内向けのマーカーレース型運搬ロボットである。飲食店や介護施設など人手不足の業界において、モノの移動という間接業務に絞って業務サポートを行うロボットである。

NHK NEWS WEB

2018年（平成30年）2月16日 金曜日

福島 NEWS WEB

介護の負担軽減へ ロボット試験

02月16日 19時28分

介護現場での慢性的な人手不足の解消につなげようと、働く人たちの負担を軽くするために開発されたロボットの実証試験が南相馬市で行われました。

このロボットは、介護の現場で身体介護以外の業務を担い、働く人たちの負担を減らそうと、東京の

ベンチャー企業などが県の支援を受けて去年から開発を進めています。

16日は、南相馬市の高齢者施設で行われている実用化に向けた実証試験の様子が公開されました。

試験では、施設を訪れる人への受け付け業務を、タブレット端末のような形のロボットが行う様子が公開され、利用者の家族として登録された人の顔をカメラで認識したうえで、別のロボットに指示を出し、利用者の部屋まで案内しました。

案内役のロボットは、直径40センチ、高さ80センチの円筒形で、廊下の床面の金属製の板をたどって進み、洗濯物の運搬もこなします。

さらに、施設を訪れた人の情報は事務室のパソコンに送信され、そのままさまざまな事務作業に使用することで、省力化するねらいがあるということです。

開発した企業などは、来年の実用化に向けて、年間100台の生産を目標に試験を続け、実用化後はロボットの生産拠点を浜通り地域に設ける方針です。

企業の取締役を務める浅野滋さんは、「業務時間の6割から7割を占める雑務をロボットが担うことで、人が介護に集中出来る環境を提供したい」と話していました。

全国のニュー

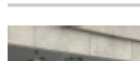
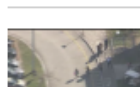
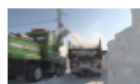


図 4.4-1 NHK 報道の様子

運搬ロボットのプロジェクトで出された提言を詳細に説明する。このプロジェクトでは32個の提言が出された。

{“計画段階ではロボット本体がない状態でユーザーテストへの協力依頼をする必要が

ある。相手の期待値が高いため、とんでもない要求がでる。ロボット技術や実用化レベルの技術についての知見がない人間には、ロボットを利用する具体的なイメージがわからない。相手の要求が高すぎるため、開発不能となるか、相手が失望して協力を得られない。開発するロボットの動きやできることを事前に整理し、ある程度の使用プランをこちらから提案する。期待値をコントロールする必要がある”}

エンドユーザ候補としてユーザーテストの協力を依頼するときの提言である。ロボットに対する万能なイメージがあるために、ある程度期待値をコントロールすることが必要であるという提言である。また、ロボットにやらせるのが正しいオペレーション改善なのかどうかについても検討が必要である。介護施設では洗濯機を運搬させるサービスでは、洗濯機から洗濯物を取り出す、といったことまでロボットにやらせたいというニーズがあったが、コストとの兼ね合いで現時点では現実的ではない。代替させるサービスひとつひとつについてコスト分析を行い、ロボットに代替させることでの総合的なコストメリットを算出する必要がある。

{“仕様の中でも、顧客との打ち合わせが無いと決まらない仕様もあり、開発担当者ではなく、マーケティング担当者がその仕様を把握していないと、スムーズな開発が行えない”}

ロボットの仕様の中で開発者の想定で勝手に決めるのではなく、できる限り想定顧客からのヒアリングを重ねるべきという提言である。運搬ロボットの位置認識用のマーカのサイズ、置き方などは、一見して開発者、技術依存のようでもあるが、導入先の施設での所内景観等に大きく影響するため、合意を得る必要がある。

{“ユーザーテスト現場の介護施設でインフルエンザが流行し、実験が不能となった。突発的要因、ユーザーテストが不能、ユーザーテストの予備日を設けておく”}

運搬ロボットのユーザーテストは、直前に介護施設でインフルエンザが流行したために、延期となった。インフルエンザの場合には1週間以上立ち入りができなくなる。予備日を10日後にしていたために、ユーザーテストは遂行できたが、プロジェクトの終期が迫った時期に行うこうした実験については何らかの理由でできなくなった場合のサブプランをしっかりと立てておくべきである、という提言である。

4.5 歩行支援ロボット

歩行支援ロボット(Walk Assistance Robot. WAR)は、利用者が座ったまま歩く移動補助器で、足の負担を下げかつ筋力を維持増強できる。全方向移動が可能なアクティブキャスト技術によってロボット化されており、7度の傾斜が登坂できる。非医療用途として健常者ではあるが歩行に困難を抱える高齢者の避難用に開発された。図 4.5-1 は開発されたロボット化されたモデル（左）と動力のないモデル（右）である。



図 4.5-1 歩行支援ロボットの写真

東日本大震災以降、災害対応について様々な研究が加速した。復興庁によると、福島県における震災関連死の精神的・肉体的疲労による死亡原因として、「避難所等への移動中」が約3割、「避難所等における生活」が約3割であった。同報告において『発災直後からの避難（移動）や避難生活の事情がもとで、徐々に衰弱した事例がほとんどである』と結論づけられている。平成26年度福島県の助成で開発されたが、ユーザーテストの結果、未だに商品化に至らず、開発へ差し戻しとなっている。健常者に対する移動支援として、歩行により近い状態を保てる支援機というコンセプトについてはニーズがあることがわかったが、避難時には不要と判断された。そのために、日常用途での歩行支援器具として計画段階から開発をやり直すこととなった。

歩行支援ロボット [28] [21]のプロジェクトで出された提言を詳細に説明する．このプロジェクトでは 51 個の提言が出された．

{“歩行支援機の後輪について，固定すれば直進性がまし，自由輪にすれば旋回性能が向上するが，どちらが重要かわからなかった．細かい旋回が必要になりそうな狭い場所が現地にはなかったが，そういった地理的条件が地域によって違う．ニーズによってトレードオフとなる技術仕様について特に注意して検証すべき”}

本提言は，直進性の向上と旋回性能がトレードオフの関係にあった歩行支援機の構造についての提言である．旋回性を重視した結果，直進性が低いことについて現場実験でクレームが出たため設計を変更した．

{“新技術を新しい加工技術で作ると，評価が困難である．歩行支援機のパフォーマンス評価にあたって，設計性能が悪いのか加工精度が悪いのか判別できなかった．新製品の試作には，新しい加工技術を用いないか，評価試験に当たって原因が峻別できるように技術開発を行うべき”}

本提言は，実験手法に関する提言である．菊池製作所にとって新しい加工技術であるパイプの 3 次元曲げ加工を利用して歩行支援機の試作機を製作したため，加工精度が悪く個体差がでてしまった．加工精度が比較的ましな個体を使って一台だけで性能試験を行ったが，加工精度についての検証もできていないため，設計に原因があるのか，加工に問題があるのか判断できなかった．

{“ホームセンターに訪れる客層に曜日・時間波動があるため，声をかけて集まる時間帯と集まらない時間帯があった．ユーザーテストの現場では利用客の客層の波動をスケジュールに組み込む必要がある．無理やり声をかけるので，ターゲットと違う人が被験者になってしまった．必要な客層の来る曜日，時間帯まで調査が必要．また実験データについて被験者の属性について記録をしておけば，本来ターゲットでない被験者のデータを排除できる”}

本提言は被験者の収集に関する提言である．ホームセンターの中での歩行支援機の日常利用の可能性を探ったユーザーテストを実施したが，その際の被験者について，歩行支援機をそもそも必要としない人まで対象に含まれてしまった．被験者が全員とならないユーザーテストでは，被験者像を明確にし，スタッフに周知する必要がある．しかし，すべてのスタッフが計画通りに実行できない場合もあるため，被験者がターゲットとして正しいかどうかを実験結果と共に記載しておけば，データの排除ができる．

4.6 観光案内ロボット

観光案内ロボット(Sightseeing Guide Robot. SGR)は，記念写真撮影に特化した移動ロボットであり，近くにいる人の顔を認識し，声を掛けて撮影し，背景をニーズに合わせた合成写真とする．東京都産業技術研究センターによる公募型研究事業において，東京オリンピックを目的に実施された「観光案内をサポートするコンシェルジュロボットの開発」事業内で開発された．図 4.6-1 はそのロボットを示す．ロボットは，都内の観光施設，高層建築物の展望室，空港施設，市区町村の観光案内所，商業施設等へ販売．利用者は施設内スタッフ(ガイド等)と外国人観光客を想定．ロボットはスタッフの操作により，居場所を認識した後，追従しながら案内作業(多言語対応)・おもてなしの支援(道案内・写真撮影)を行なう．また，頭部に内蔵されているタッチパネル端末の画面は，観光客が気軽に操作でき，双方向のコミュニケーションを実現できる．



図 4.6-1 観光案内ロボット

都内の観光案内所，とりわけ高層ビル展望台（例／都庁・東京タワー・東京スカイツリー・池袋サンシャインビル）や羽田空港内を想定し，ボランティアガイド（ひと）とコンシェルジュロボットがペアを組んで，訪日外国人観光客の誘導およびガイドを行なうことを想定されていた．

（公財）東京都観光財団協力によると，訪日外国人観光客は年々増加しており，行政サイドもボランティア育成にも注力する一方，全ての国の言語への対応は困難であるため，ひと（主に英・中・韓・仏・独）以外の言語対応が課題となっており，同社では，ボランティア（ひと）とロボットがペアを組み，観光客グループを誘導（ロボットは追従）しながら，現地語（スペイン・ポルトガル語等）での道案内や名所の解説，おすすめスポッ

トの紹介，写真撮影サービス(海外では日本と異なり他人にカメラを渡して撮影の依頼をしないため，写真撮影機能は有効)などで“おもてなし”を行なう提案をしている。

また，市区町村や商工会議所の職員向けに，ロボットの活用により広がる具体的サービスのイメージを発信が重要との意見から，同財団主催の賛助会員交流会においても，ロボットによるおもてなしサービスのデモを実施した．図 4.6-2 はそのときの様子である．



図 4.6-2 観光財団賛助会員交流会における観光案内ロボットのデモ

その後，テレコムセンターや東京都産業技術研究センターでのイベントに合わせたユーザーテストを実施し，集客に一定の効果があることを実証し上市へ向けて準備すべきとされたが，企業側の開発リソース不足のため現在は開発が一時中断されている．観光案内ロボットのプロジェクト [29]で出された提言を詳細に説明する．このプロジェクトでは 39 個の提言が出された．

{“共同開発に近い形で導入先候補を巻き込むのに現実のロボットの試作品ができていないと説明が困難．構想段階や紙の上の説明では，ロボットの動きを理解してもらうことが困難である．導入先候補の確定に時間を要した,完成している要素技術を見せると

ともに、スタイロフォームで仮筐体を作るなどして営業ツールをつくった”}

計画や構想段階での仮想的な顧客収集についての提言である。コンセプトを紙ベースや口頭で伝えるだけではそもそも伝わっておらず、現実にはモノを見せないと話が始まらない。

{“サービスのロボット代替の抵抗が強く、ヒアリングに気を使う必要がある。観光業界は労働集約型産業なので、ロボットの台頭によって、人が仕事を失うと考えられているため。また、ボランティアベースの活動が多いため、ヒアリングに際して、ボランティア等からの調査がしにくかった。”}

サービスを立ち上げる際に、現状その業務、あるいは近傍業務を行っている従事者からヒアリングを行うことは必要であるが、その際に、仕事を奪われるという思い込みが邪魔をするという提言である。特にロボットについてはニュースやインターネットでもそのような議論がされている影響か、自分たちをロボットに置き換えることはできないと、ヒアリングに対して攻撃的な対応をするスタッフもいた。これらの点については十分に留意する必要がある。

{“社会受容性に関係がないと思われる開発が開発者の意思で入り込んでしまい、開発期間が長引く。研究開発者が論文化や趣味の目標を入れ込んでしまうため、本来的な社会受容性の評価に必要な開発でスケジュールが圧迫される。具体的な開発項目レベルで全体管理者が優先順位をつける”}

本プロジェクトは複数の大学がコンソーシアムを組んで開発を行った。しかし、大学研究者の人事評価軸は製品化ではない為、要素技術開発の中に商品価値とは関係のないテーマなどが入り込んでしまった。プロジェクトのスコープを厳守させることは当然必要であるが、本提言ではその手法としてマイクロマネジメントを行うべきとしている。

4.7 テレプレゼンスロボット

テレプレゼンスロボット (TPR) も、同様な背景で避難所における精神的負担軽減のために開発されたロボットである。避難者に付随して移動し、支援者を常時身近に感じる移動式テレビ電話ロボットである。避難所での最低限 72 時間の避難生活を支援するロボットであり、避難所においてケアを必要とする人に寄り添い、その人の状態を見守り、支援が必要となった場合にその人が必要とする支援者となつて役割を果たす。図 4.7-1 はそのコンセプトモデルである。

開発したテレプレゼンスロボットの特長は、1)現在米国で様々な用途が開けつつあるテレプレゼンスロボットのプラットフォームとして幅広く利用できる“汎用性”と、2)個別のニーズに対処できる“カスタマイズ性”を、両立させるものであった。プラットフォームロボットとして、産業技術総合研究所知能システム部が開発したオープンソースである、RT ミドルウェア (RTM) を基盤としているため、現在までに公開されている数多いロボットの応用ソフトウェアが臨機応変に幅広く選択・利用できる。また、モジュール化されている構造で、移動部 (モビリティモジュール) とヒューマンインターフェース部 (対話モジュール) とそれらの結合部 (移動・対話結合モジュール) の3つのモジュールの結合体であるため、利用目的に応じて結合部は、柔軟にカスタマイズできる。

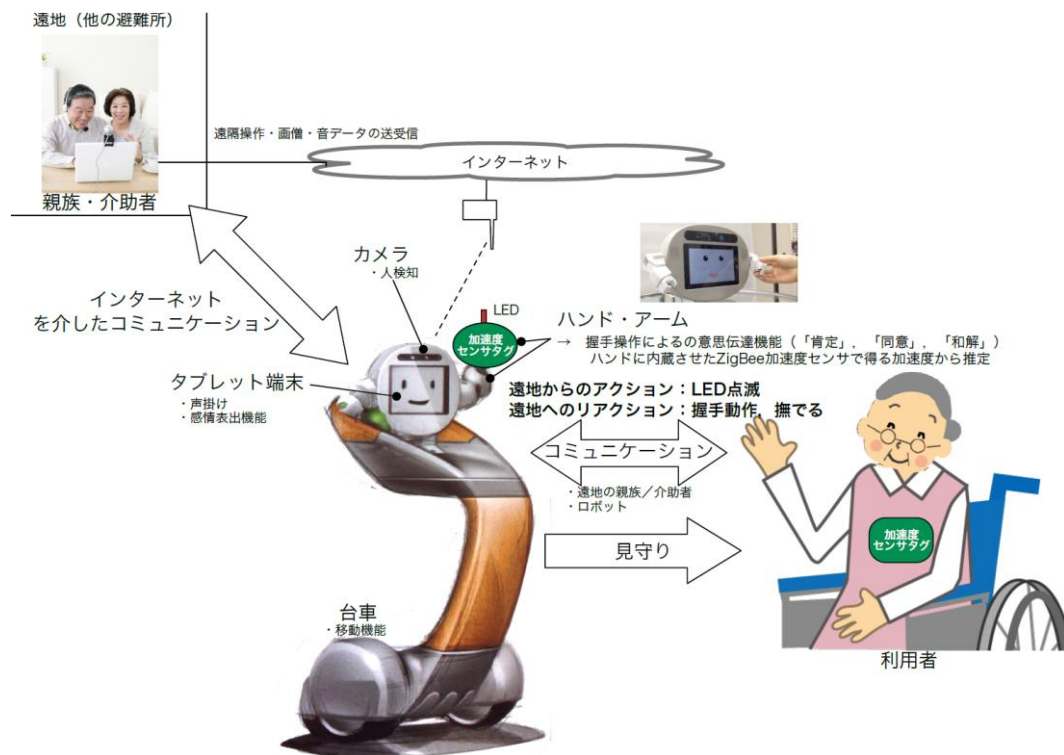


図 4.7-1 テレプレゼンスロボットのコンセプトスケッチ

図 4.7-2 は避難所でのユーザーテストの様子である。実験に先立ち、仮設住宅の設置区域の中にある仮設の集会所で説明を行った。近隣避難所であった原ノ町中学の体育館と接続し、テレビ電話による通話などをデモとして行った。その後被災地住民らに開放した。南相馬伝統の馬追祭りの衣装を模して現地住民への親和性を増す試みなどを行っている。



図 4.7-2 テレプレゼンスロボットの現場実験の様子

テレプレゼンスロボットは避難所でのユーザーテスト後、不要と判断され、開発中止となった。

テレプレゼンスロボット [30] [31]のプロジェクトで出された提言を詳細に説明する。このプロジェクトでは 16 個の提言が出された。

{“ユーザーテストの事前のワークショップにおいて参加した 10 数名のうち男性が 1 人しかいなかった。男性はコミュニティ活動にほとんど参加しない。実験データが女性に偏ってしまう。男性に興味がある活動を同時開催する。そば打ちを実施したところ、男性比率は改善した”}

本提言は、ユーザーテストでの被験者集めに関する提言である。男性参加率は他のプロジェクトでも問題になっていた。イベント形式で人を集めたため、男性参加率がどの実験でも低かった。歩行支援機のように、その場所に来る一般人をランダムに抽出するような形ではなく、ワークショップ形式をとる場合は、男性を参加させる仕掛けを入れるべきという提言である。本実験では、そば打ちイベントをメインに据えることで、男

性を集客した.

{“アンケート項目が多く、文章が難しいため、紙ベースでのアンケートに対して拒否反応が出た.参加者は高齢者で、細かい文字を読むのが大変になっており、面倒臭いものを嫌がる,アンケートのサンプル数が減り、心理的なバイアスがかかっている恐れがある,無理やり書いてもらった,次回以降、アンケートは1対4のヒアリング形式で会話の中で行った,項目の簡素化、ヒアリング要員の確保,アンケート項目があまり多くなならないようにする”}

アンケートについての提言である. アンケート調査の手法については社会学の分野として様々な研究がされている. 手法自体はそちらを参考にすべきであるが、手法について十分に検討をすべきという注意喚起の提言としては意味があるといえる.

{“第二回ユーザーテストでは集合場所と実験場所が離れており、遅刻者への対処が必要だった. .各グループから輸送要員を出してもらう必要があり、輸送用の待機車が必要となった. シャトル型では被験者が待たずに帰ってしまうため逐次輸送が必要だった. 予備人員が常に集合場所と実験場所を往復し、人員輸送に当たった,,実験場所と集合場所は可能な限り同一にするか、輸送手段を確保する,実験場所と集合場所は可能な限り同一にするか、輸送手段を確保する”}

本提言は、実験場所までの輸送についての提言である. イベント形式のため、集まりやすい場所を集合場所にし、実験場所まで輸送を行った. その際に遅刻者への対処が必要であった.

4.8 健康提案システム

健康提案システム(Lifestyle Proposal System)は健康支援や高度社会参加に結び付く生活アドバイスと、そのために地域で利用可能な支援サービスを提示する技術（デジタル水晶玉技術）である。WHO が提唱する生活機能モデル（ICF）に基づく生活データベースと地域のサービス業のデータベース、人に関する属性データベースを備えている。生活データベースは生活改善事例を蓄積したデータベースで、例えば膝の悪い方がどのお店のどの杖を購入したことで生活が改善された、というような事例を ICF に基づいてタグをつけて格納してある。職歴・スキルや、障害がある場合にはその情報を入力することで、生活データベースから生活改善事例が抽出され、生活が改善しうるサービスの提示を受けられる。図 4.8-1 はそのデータベースの検索画面である。

The screenshot shows a web application window titled "LivingDataSearchSystem". It features a search interface with several filter buttons and a list of search results.

Search Filters:

- 誰かの役に立ちたい (Help someone)
- 自信を持ちたい (Gain confidence)
- 感謝されたい (Be thanked)
- 人と交わりたい (Interact with people)
- 楽しみたい (Have fun)
- 喜びを感じたい (Feel joy)

Search Results:

25件見つかりました。

事例
4 マンションの隣人や、妻の銀行勤務時代の友人を招き、ホームパーティをして手料理をふるまう
5 孫を幼稚園に送る
6 釣りが趣味の長男が、大量の魚をもってくる。近所の人におすそわけできるのがうれしい
7 一木会の議事録を作成する
8 孫と入浴
9 着物や洋服をあげたりする
10 夫の昼食を作る
11 隣に暮らす母親の家事を手伝う
12 隣の奥さんと一緒に、マンション内の公園の花の手入れ、水やり、清掃などを行っている
13 夫の病院に行く
14 隣の母に暇つぶしになる本を持っていく
15 クラス会の役を引き受けた
16 孫の面倒を見る

図 4.8-1 健康提案システムの生活データベースの検索例

避難生活中の高齢者に使用をしてもらったが、事例の蓄積が少ないために検索で十分な結果が返せないうえ、そもそものニーズがあるかどうかもわからずに開発は中断された。

健康提案システム [32]のプロジェクトで出された提言を詳細に説明する。このプロジェクトでは 24 個の提言が出された。

{“システムはWEBベースで簡便であるが、そもそもPCやスマートフォンなどを自力で扱える人はネットでの検索もできるため、このシステムを必要としない。PCやスマホを使えず、検索の恩恵を受けられない人に対しては、支援者を間に挟む必要がある”}

健康提案システムのニーズとのマッチングについての提言である。健康提案システムは、高齢者などの基本情報や何に困っているかというデータから、その地域で受けられる支援や、有料、無料のサービスなどを提示するシステムである。当初は本人操作の想定だったが、それは困難であったため、民生委員への業務に役立てることを検討した。

{“民生委員の業務へ導入することを考えてビジネスモデルを組み、開発を進めたが、民生委員の業務へ入れることが不可能だとわかり、途中で要件を変更する必要ができた。民生委員の業務所管を調査しきれていなかった。事前に、導入先としっかりと打ち合わせをすること”}

想定導入先との、導入可否に関する打ち合わせが必要であるという提言である。導入前提まで、顧客としての期待値を高めることは初期段階では困難であったとしても、導入可否について検討してもらうことは必要である。ニーズはあったとしてもコスト、既存の人員、習熟、今回の場合には法制度など、新しいシステムの導入には様々な阻害要因がある。それらを調査する必要がある。

健康提案システムは、事業終了後に高齢者見守りサービスのコールセンター業務を請け負う会社へ提案されたが、採用に至らず開発を凍結された。顧客探しがうまくいかなかった事例である。

4.9 仮想同居システム

仮想同居システム(Virtual Co-Living System. VCLS)は、人の動きを感知するセンサと自由に割り当て可能な赤青緑の3色のボタンとを持った通信装置である。ボタンの意味を家族同士で予め決めておくことで、遠隔モニタリングと緩いコミュニケーションを支援する。高齢者にとって、携帯電話、特にメールの操作は容易ではなく、遠隔コミュニケーション手段が電話となることが多い。しかしながら電話は時間を拘束されるために現役世代には毎日別居している高齢者に電話をするというような密なコミュニケーションが難しい。このため、その生活の様子をプライバシーを侵害しない程度にモニタリングしつつ、活動量の極端な低下などを示せるこの仮想同居システムは特に健康状態の悪化しがちな避難所生活において有効であるとして開発された。

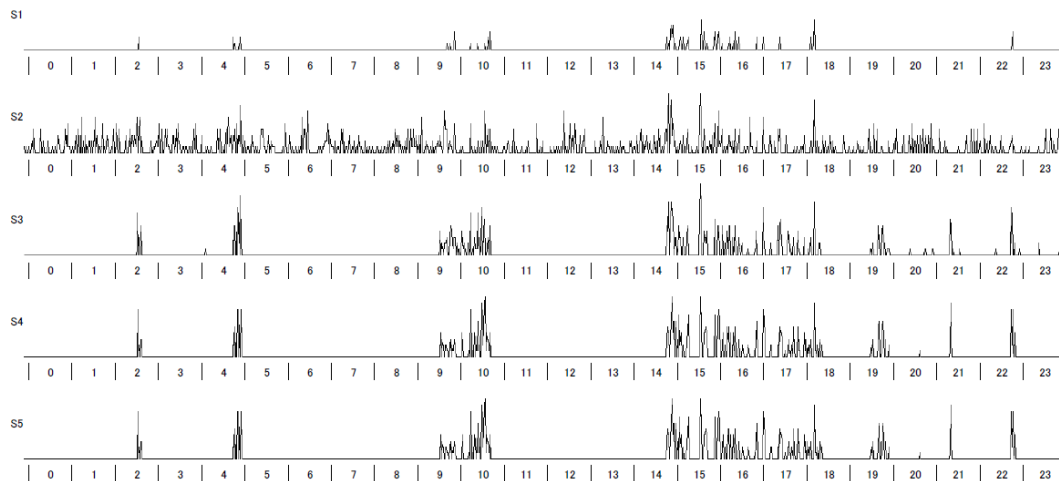


図 4.9-1 仮想同居の被験者宅でのセンサ反応

図 4.9-1 は現場実験での被験者宅での 24 時間の実際のセンサ出力をセンサごとに時系列で並べたグラフである。通信途絶やセンサのフィルタリングなど技術的な要素による低評価もあり、現場実験後、開発中止となった。

仮想同居システムは2台の無線通信機能を持った端末が対になったシステムであり、以下の機能を持つ。

1) 2 台の端末を無線通信により結合し、自分の様子を端末から送信し、送信された相手端末の様子を表示する。

2) 相手の生活状態を検知するために人感センサを組み込み、活動状況を相手端末へ送信し相手端末の LED へ表示する。相手活動量が多いときは LED が明るく点灯し、活動量が少ないときは LED が暗くなる。

3) 3 つのボタンとそれに対応する LED を装備し、ボタンを押すことと LED の点滅・点灯を通して、端末間でのコミュニケーションを図る。

4) 1 つのボタンには、コールセンタ呼び出し機能を持たせ、コールセンタではそのリクエストを受け付ける機能並びに、要望事項記録する機能。

5) 仮想同居端末の状態をモニタする機能

図 4.9-2 は開発された実物の写真である。



図 4.9-2 仮想同居システムの写真

仮想同居システム [33]のプロジェクトで出された提言を詳細に説明する。このプロジェクトでは 13 個の提言が出された。

{“最初は研究のためにという目的だったものが、いつの間にか商品化へ目標が変更さ

れており、それをする準備ができなかった。要求性能について打ち合わせが必要。商品化に必要なことをなにもできなかった”}

開発担当者と事業責任者の意識の目的意識の違いを克服できなかった事例である。開発担当者に明確にプロジェクトの目的を伝達しないと、プロジェクトは失敗する。

{“実験室では外装なしで性能評価をしたが、実際には外装をつけて使用する機器で、外装が赤外線透過しなかったため、使用不能だった。赤外線透過素材で外装を作り直したため余計な工数と費用が掛かった。外装も完全にした状態で性能評価を行う,”}

本提言は、実験手法実験室での性能検証と現場での検証との間で、環境以外の差異を設けてはいけないという当然の提言である。

4.10 災害情報システム

災害情報システム(Disaster Information System. DIS)は、被災地の住民がスマートフォンにより被害現場の写真を市役所に送り、リアルタイムで公開し、迅速な避難を支援するシステムである。地域が被災した時、どの避難所へ避難すればよいのかの情報や、その避難経路の状況情報が、迅速でスムーズな避難を可能にするために必須の情報である。ところが、大規模な災害の場合、行政は情報を発信するために必要な情報を、各処からの問い合わせに忙殺され適切な情報収集を行うことができない。それを解決する技術である。東日本大震災当時に防災無線を含めた行政側からの情報伝達が遅れる中、インターネット上のチャットサービスなどによる情報伝達がスムーズに行われていたことから考案された。図 4.10-1 は収集された個別の災害情報を確認するためのインターネット上のサイトの画面である。

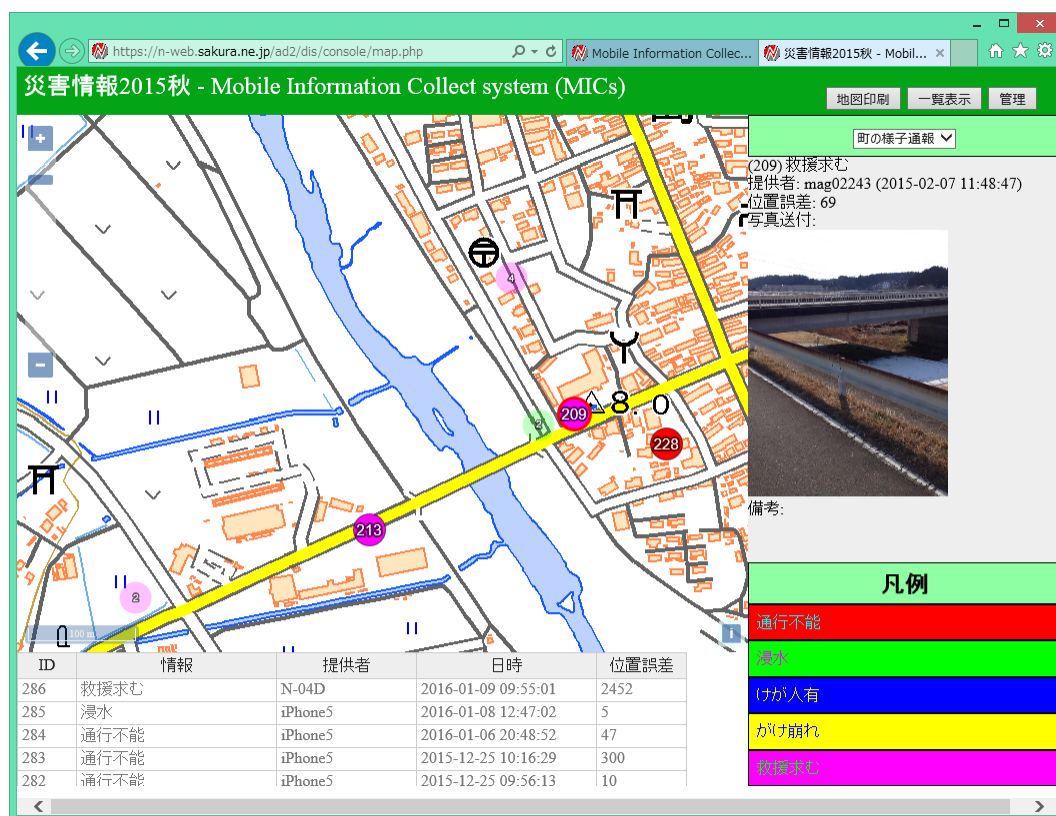


図 4.10-1 災害情報システムの情報画面

災害情報システムは以下のような機能を持つ。

- 1) ユーザーが簡単にシステムを設計し、すぐに情報の収集・発信が行える機能
- 2) 位置情報がなくとも、システムを利用できるようにする機能
- 3) 収集したデータを集計する機能
- 4) アンケートなどでも活用できるように、QR コードから起動できるようにする機能
- 5) 地図上で全ての情報でなく、全体の傾向を把握できるようにする機能
- 6) 地図上で把握できるように色分けを行う機能
- 7) 被災地住民の生活圏内施設のバリアフリー化についての情報を収集する情報システムを作成
- 8) 日常的な要支援者の情報を蓄積できる介護事業者向けの情報ツールとして、要介助者情報システムを作成

本システムは現場実験後、ユーザーテストを行うことが困難であったため、その導入効果を実証することができず開発中止となった。

災害情報システムのプロジェクトで出された提言を詳細に説明する。このプロジェクトでは 20 個の提言が出された。

{“試作途中に、利用していたオープンソースの GIS システムが仕様変更されたため、開発に余計な工数がかかった。オープンソースのシステムを利用する際には仕様変更のリスクがあることを認識しておく”}

オープンイノベーションのリスクに関する提言である。製品に組み込むには、仕様についての責任の所在を明確にする必要がある。また、オープンソース部にセキュリティリスクなどが発生した場合、組込んだ担当企業が責任を負うことになるため、十分な精査が必要である。

{“現地の人がシステムを使って通報を行えるか検証するにあたって、実験スタッフが横で指示をしてしまった。実験スタッフへの説明、全員問題なく通報できるという結果になった”}

実験手法についての提言である。実験の中ではスタッフは聞かれれば質問に答えなければ不親切となるが、UI の検証にあたっては、それを行ってはならない。実験の趣旨

を実験スタッフが把握をし、趣旨に沿った行動をとるように指導する必要がある。初歩的なミスであるが、始めてユーザーテストを行う人にとっては、陥り安い事故である。提言を収集すると、このような、やって初めて分かった知識は漏れにくい。

4.11 スマート安全靴

スマート安全靴のプロジェクトで出された提言を詳細に説明する。このプロジェクトでは 30 個の提言が出された。筆者自身の書いたものも含まれている。

{“計画段階から渉外担当をおいて、顧客探しや要求性能のヒアリングを実施すべき”}

本提言は筆者自身のものである。初期段階で共同実施先の、技術者ではなく営業担当が顧客候補をまわったため、技術者によるバイアスのかからない要求性能がヒアリングできた。担当技術者の得意分野、専門分野の技術が選定されることは必然ではなく、その他の可能性も含めて方式が検討されるべきであり、靴に埋め込む電子機器の電源確保の方式として第二章の発電機以外にも複数の選択肢が生まれ、技術開発のみを成否の軸としない商品開発が実施できた。

{“ユーザーテストで世に出す以上、禁止物質や量産対応不可なパーツを使用してはいけない”}

試作段階での研究開発ではしばしば容易に入手できる部品を品質や供給元の確認をすることなく使用する。しかし、それによって試作ができたとしてもコストの見積もりや性能の担保は出来ず、展示会に出したものの量産可能性が低くて開発を断念するケースが存在する。企業としての環境に対する責任も含めて、商品に使用可能な部材のみを使用することで、事業自体の実現可能性を担保できる。

{“開発関係者がいる状況では、運用が変更されたりなど環境が普段と違ったり、本音が引き出せなかったりするので、想定ユーザーに一定期間開発品を預けられる品質のものでユーザーテストを実施すべき”}

ユーザーテストでは開発者の手を放して、想定ユーザーがマニュアルを読めば使用できる品質まで高める必要がある。開発者がオブザーバー参加する一日限りのユーザーテストでは、実際の運用と異なる中で使用されたり、バイアスのかかったフィードバックしか得られない可能性がある。品質面ではなく、機能面でのフィードバックを得るためにも、ユーザーテストでは、現場実験レベルとは異なる技術的完成度で臨むべきである。

4.12 10 件のプロジェクトのまとめ

以下，表 4.12-1 にここまで紹介，分析したプロジェクトの概要をまとめる．

表 4.12-1 プロジェクトの結果のまとめ

	ユーザー テスト	概要
MS マッスルスーツ	実施後 上市	システム設計の分野に該当する提言が多く出された．大学主導と企業主導の切り替え時期にリーダー変更によるトラブルが起きたが、全体的に順調に推移し、いくつかの分野でのユーザーテストを経て当初計画とは異なる分野で事業確立した
DES 被災度判定計	実施後 上市	技術的な完成度は早くから高かった．事業開始前に基礎技術開発は完了しており、事業内では設置やネットワークなどの周辺技術開発を中心に実施．現場の選定を始めたのが遅く、想定顧客とのやり取りが遅れた以外に大きな遅延はなく、プロジェクトを完了した
SGR 観光案内ロボット	実施後 一次中 断	技術開発を行う大学と事業主体の企業間でのやり取りに多少の問題が発生し、遅延が生じた．分散開発で管理業務が煩雑になった．仕様はユーザーテストの打ち合わせを通じて確認していたため、多少の問題とそれに伴う遅延が発生したが、プロジェクトを完了した．
CR 運搬ロボット	実施後 上市準 備	フェーズごとにカテゴリが適切に推移し、また、全般に管理と内部要因が少ないことにある．十分な管理体制のもとに、当初からユーザニーズを取り込んだ仕様が作成され、途中でトラブルが生じても回復し．ユーザーテストを経て量産化が決定した．
WAR 歩行支援ロボット	実施後 再度開 発	仕様の取りまとめを行う人間が不在で、様々な想定ユーザーの言い分で複数の開発チームが並行開発をするなど、管理業務に難があった．ユーザーテストの計画を初期から立てていたため、仕様の不徹底が修正され、遅延は生じたものの、プロジェクトを完了した．
TPR テレプレゼンス ロボット	実施後 開発凍 結	仕様の取りまとめを行う人間が不在で、開発にいきなり突入し、プロトタイプが出てくるまで他とのやり取りが行われなかった．ユーザーテストの計画の中で多

		くの手戻りをし、実験まで漕ぎつけたが、ニーズを反映したプロトタイプになっておらず開発中止となった
LPS 健康提案システム	実施後 開発凍結	開発への着手が遅く、想定ユーザーも実験直前まで見つからなかった。仕様が現実に即したものにならず、その上ニーズを反映していなかったため、いちおうのユーザーテストを経て開発中止となった。
VCLS 仮想同居システム	未実施	開発への着手が遅く、想定ユーザーも見つからなかった。そもそも人手不足などの理由でプロトタイプの開発が完了できず、ユーザーテストにも不参加となった。
DIS 災害情報システム	未実施	開発への着手が遅く、想定ユーザーも見つからなかった。開発者がシステム全体の意図を把握しておらず、何度も仕様のレビューを繰り返したり、仕様の変更を繰り返したため、開発が遅延した。現場実験までは実施したが、ユーザーテストにも不参加となった。

4.13 提言の有用性とユーザーテストの有用性

前節までに、10 件のプロジェクトで収集した 253 件の提言について説明した。本節ではこのように収集した提言の有用性について述べる。

提言は、大きく分けてシステム設計上の課題とプロジェクト運営についての課題に大別できる。マッスルスーツの過誤的な利用への対策に関する提言はシステム設計上の課題である。運搬ロボットのインフルエンザによる実験遅延と予備日の提言は、プロジェクト運営についての提言である。システム設計上の課題については、さらに、上述のマッスルスーツの例のように着眼点等についての提言であって一般化しうるものと、歩行支援機の段差乗り越え性能のように設計の中身そのものの提言とが存在する。後者のものは似たような機器を試作する場合には大きく参考になるがそれ以外の場合にはほとんど有用ではない。

提言は暗黙知であるがゆえに構造化が困難であり、収集した提言が全て一般化可能で、かつ他のプロジェクトにとって有用性があるわけではない。

また、立場によっても有用性は変化する。開発担当者にとっては、運搬ロボットの顧客とのヒアリングの提言のような、提言はあまり参考にならないが、上述のマッスルスーツの過誤的な利用への対策は、共通の課題となりえる。

そこで、提言の中でも、提言を活用する個人にとって、有用性があるもの、ないものを識別し、有用な情報だけを共有していく方法を検討する。

本研究では、まず、提言そのものの有用性を確認するために、開発担当者、マーケティング担当者、事業責任者というような立場で実用化開発プロジェクトに参画したことがある経験者に、提言をすべて読んだうえで、その有用性の評価を依頼した。開発担当者 1 人、マーケティング担当者 2 人、事業責任者 2 人の 5 人がすべての提言を読んだうえでの有用性の評価を実施した。253 件の提言について、非常に有用である、そこそこ有用である、まったく有用でないの三段階で評価をした。

平均で約 30 件の提言について、有用であるという評価がなされ、100 件がそこそこと評価され、全く有用でないと評価されたのは残りの 120 件であった。

評価した人ごとに有用性の評価にはばらつきがあり、全員が有用であると評価したものもあれば、評価がわかる提言も存在する。その理由は上述のように立場による違いや、システム設計上の課題かどうかなどの理由であると考えられる。従って、読

む人の立場と，提言の内容をもとにした分類を実施することが必要である．次章では，第三章に示した分類法による提言分析法により，10 のプロジェクトの分析を実施する．

第5章 提言分析法の適用

前章までに、提言分析法を提案し、提言そのものの有用性を確認した。

ユーザーテストの成否は、技術の完成度だけでなく、商品仕様、開発組織、導入地域などにも依存する。本章ではこれらを含めて第3章で述べた、3つの傾向 1)技術開発に集中できるよう柔軟なプロジェクトマネジメントを実施し、2)ニーズの不確実性を早期に潰しながら、3)技術開発の不確実性を段階的に減らしている、に照らして 10 の実用化開発プロジェクトの評価をする。

5.1 分析手法

前章では PDS サイクル WBS、経費支出、工数、提言分析法による可視化を試みた。この中で、提言データが工数や投下資金等に比較してプロジェクト評価に有用であることを示した。本章での分析には、前章で収集した提言を下の表 5.1-1 ように分類した後、それぞれの提言の分布を分析した。

表 5.1-1 新たな提言分類法

カテゴリ	国際標準職業分類 (経済指標)	全体管理、技術開発、事務、渉外
フェーズ	厚生労働省ガイドライン (標準フェーズモデル)	計画段階、実験室段階、現場実験段階、ユーザーテスト段階
ファクタ	リスク分類 RBS (プロジェクトマネジメント)	外部要因、技術要因、管理要因、内部要因

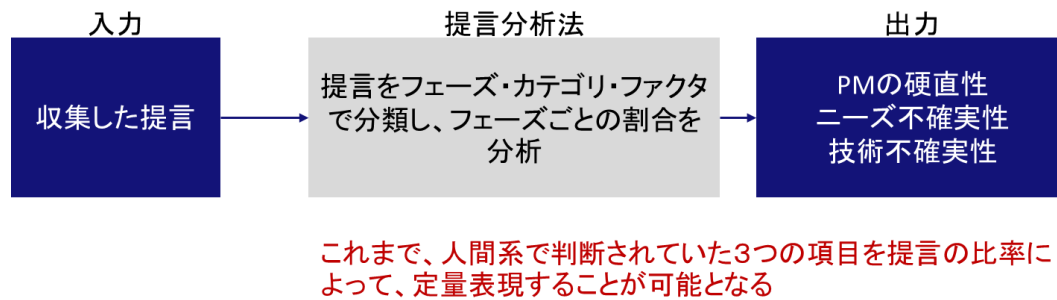


図 5.1-1 提言分析法の定義

図 5.1-1 は提言分析法のモデルを示す。提言の分類による比率から、プロジェクト運営の柔軟性、ニーズの不確実性への対処度合、技術不確実性への対処度合を評価し、プロジェクトの評価を行う手法である。

また、本章で使う用語は下のように定義する。

○ユーザーテスト

仮想的なニーズに基づいたコンセプトを、プロトタイプをもって、現場で想定顧客に使用してもらうことで、商品化開発に進むための判断材料を収集するテスト

○ユーザーテストの成果物

ニーズの見積もり（市場性の見積もり）・コストの見積もり・プロトタイプ

○ニーズの不確実性

顧客の求める用途とプロジェクト側が把握する用途のずれについてのリスク。性能要件。一般的な不確実性ではなく、プロジェクト実施者からみた不確実性

○技術の不確実性

顧客が求める用途を、スケジュール内、予算内に技術で実現するうえでのリスク。一般的な不確実性ではなく、プロジェクト実施者からみた不確実性

○プロジェクトマネジメント・その柔軟性

技術の不確実性とニーズの不確実性に対して、人員・予算・スケジュールを割り振ることで対処する管理業務・その効率

提言分析法によるプロジェクト運営の柔軟性、ニーズの不確実性への対処度合、技術不確実性への対処度合の評価は具体的には次のように行う。

○プロジェクトマネジメントの柔軟性

全体提言の中での技術カテゴリの割合（技術カテゴリの提言数/全提言数）

○ニーズの不確実性への対処

外部要因の前半フェーズへの集中度（計画・実験室段階の外部要因の提言数/外部要因の提言数）

○技術の不確実性への対処

技術要因のフェーズ特定のフェーズへの集中度（1 - （技術要因が最も集中したフェーズの全フェーズに対する提言数割合））

5.2 提言分析法による各プロジェクトの評価

5.2.1 マッスルスーツプロジェクトの提言分析

図 5.2-1 はマッスルスーツのプロジェクトについて収集した提言を横軸をフェーズ、縦軸をカテゴリごとの件数で表している。縦軸はフェーズごとに百分率で示している。

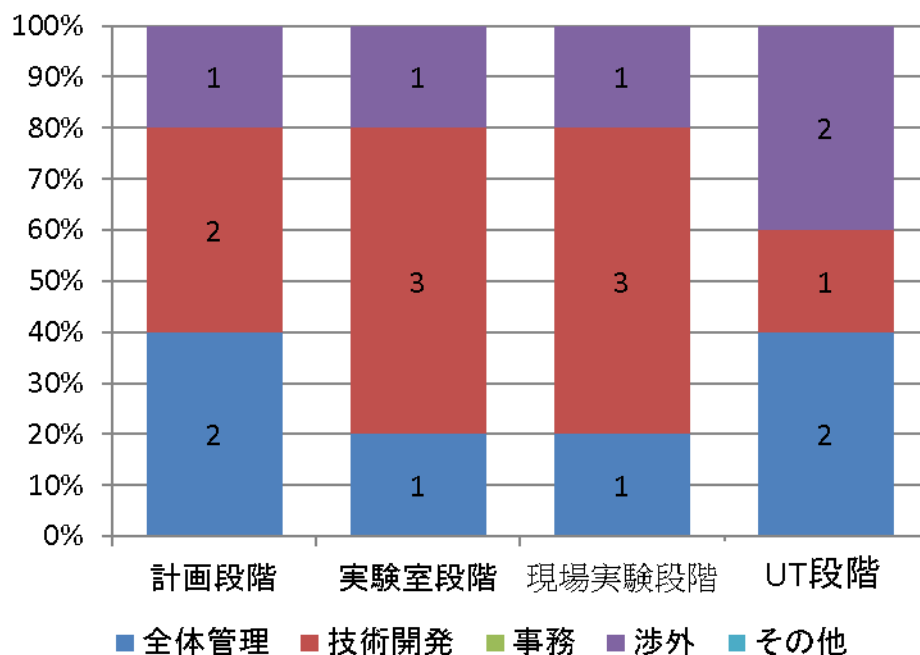


図 5.2-1 マッスルスーツの各フェーズにおけるカテゴリごとの提言分布

マッスルスーツのプロジェクトでは、初期段階、ユーザーテスト段階でやや全体管理の提言が多くなっているが、平均して全体の 30%程度である。初期段階から渉外を行い、実験段階や現場実験では技術開発が多くなっている。正常な開発プロセスを経ているようにグラフからは読み取れる。ユーザーテスト段階で渉外と全体管理が大きく増えたのは、想定顧客とのやり取りを行っただけではなく、この段階で顧客とのやり取りの中で機能を絞り込み、最終製品仕様の絞り込みを行っていたからである。マッスルスーツのプロジェクトでは、それまで取り組んできたマッキンベン人工筋肉の電子制御技術を保留して、エアで保持するタイプを先行的に上市した。こうした調整や顧客との調整をこの段階で行っていた。

図 5.2-2 はマッスルスーツのプロジェクトについて収集した提言を横軸をフェーズ，縦軸をファクタごとの件数で表している．縦軸はフェーズごとに百分率で示している．

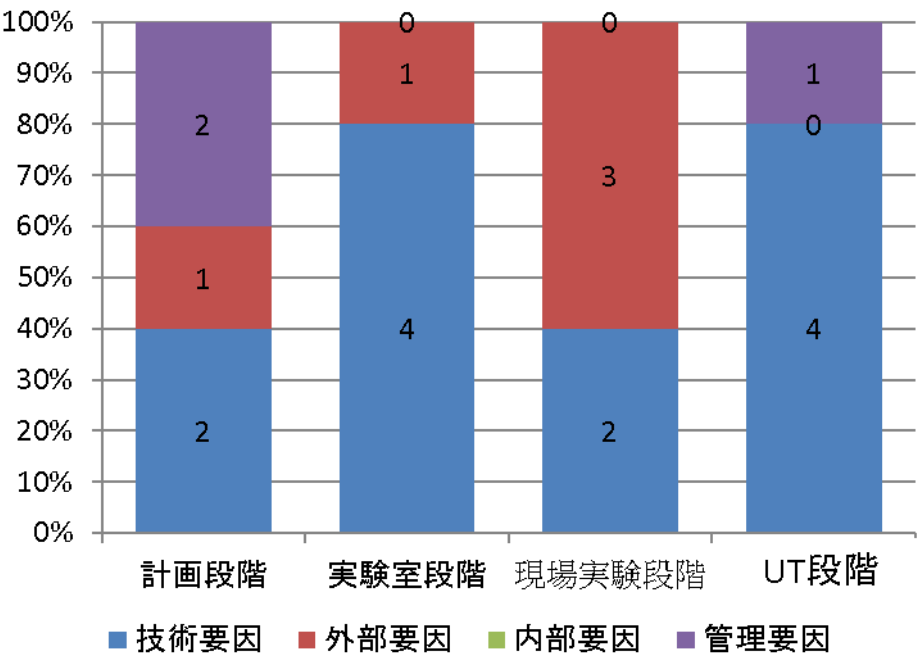


図 5. 2-2 マッスルスーツの各フェーズにおけるカテゴリごとの提言分布

マッスルスーツのプロジェクトでは，全体的に技術要因が非常に多い．技術に起因する様々な課題を解決していくことで進行するスムーズなプロジェクトであったことが読み取れる．

表 5. 2-1 マッスルスーツの提言分析評価

PM の柔軟性	4 5 %
ニーズの不確実性への対処	4 0 %
技術の不確実性への対処	6 7 %

5.2.2 被災度判定計プロジェクトの評価

図 5.2-3 は DES プロジェクトについて収集した提言を横軸をフェーズ、縦軸をカテゴリごとの件数で表している。縦軸はフェーズごとに百分率で示している。

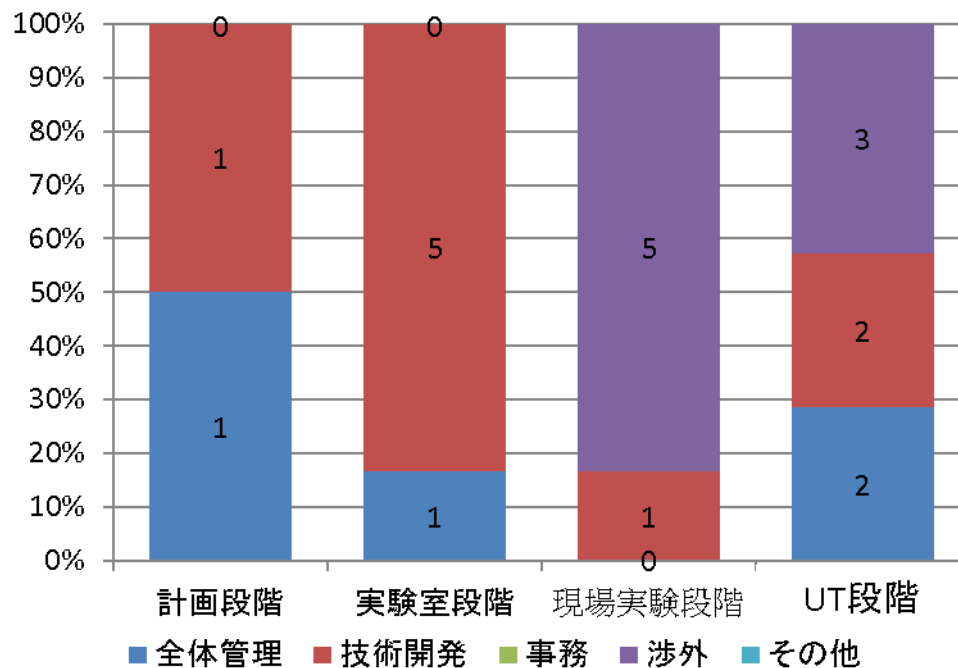


図 5.2-3 被災度判定計の各フェーズにおけるカテゴリごとの提言分布

計画段階で全体管理の提言が存在している。これは、初期にプロジェクトの収益化計画の検討など全体管理について作業をしていたためである。実験室段階では開発に注力していることが読み取れる。これらは、議事録や現場の担当者の認識と一致した。このように、フェーズ毎の提言のカテゴリ割合は、実際にあげた成果、すなわち有効作業を反映する。これは、提言数が得られた知識量に比例し、探索的研究開発では、知識の獲得が作業の主体のためである。

渉外業務が現場実験段階で急増し、多くの割合を占めている。これが、DES の開発プロセス上の問題点になっている。それまで一切渉外業務をしていなかったために、現場実験段階になってようやく実験を行う場所を探し始め、結果として実験手順の調整が不十分となった。このように、運営上の問題点も提言分析により発見される。

図 5.2-4 はフェーズごとのファクタ比率を示す。

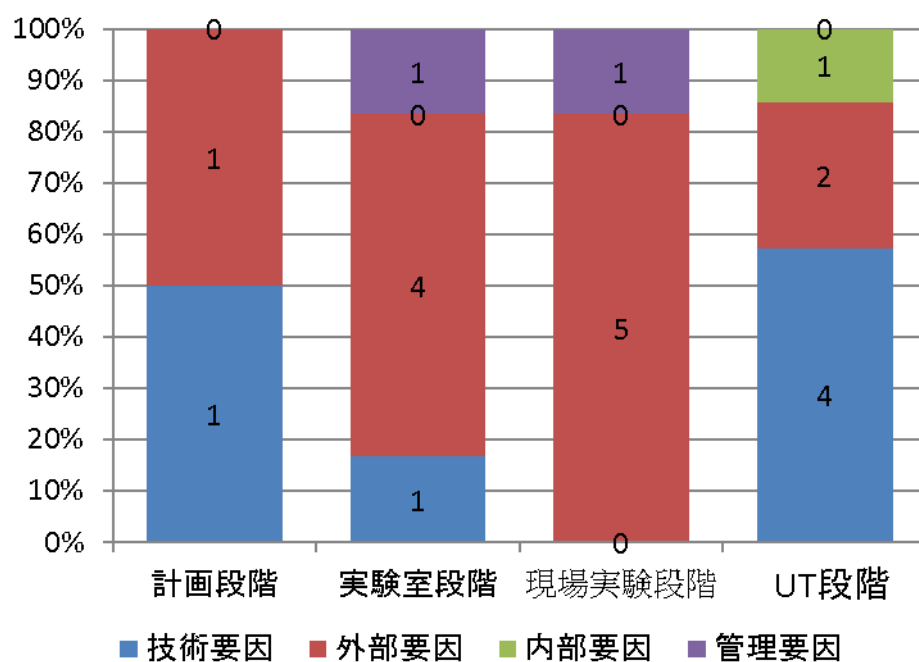


図 5.2-4 被災度判定計 フェーズ毎の提言ファクタ分布

ファクタの分布からは全般的に内部要因や組織要因が非常に少ないことが読み取れる。これはプロジェクトグループ内部や他グループとの連携においてスムーズであり、開発の手戻りなども大きくは発生せずに進んだことを示している。

表 5.2-2 被災度判定計の提言分析評価

PM の柔軟性	4 3 %
ニーズの不確実性への対処	4 2 %
技術の不確実性への対処	3 3 %

5.2.3 介護運搬ロボットプロジェクトの評価

図 5.2-6 に、提言数のフェーズごとのカテゴリ比率を示す。

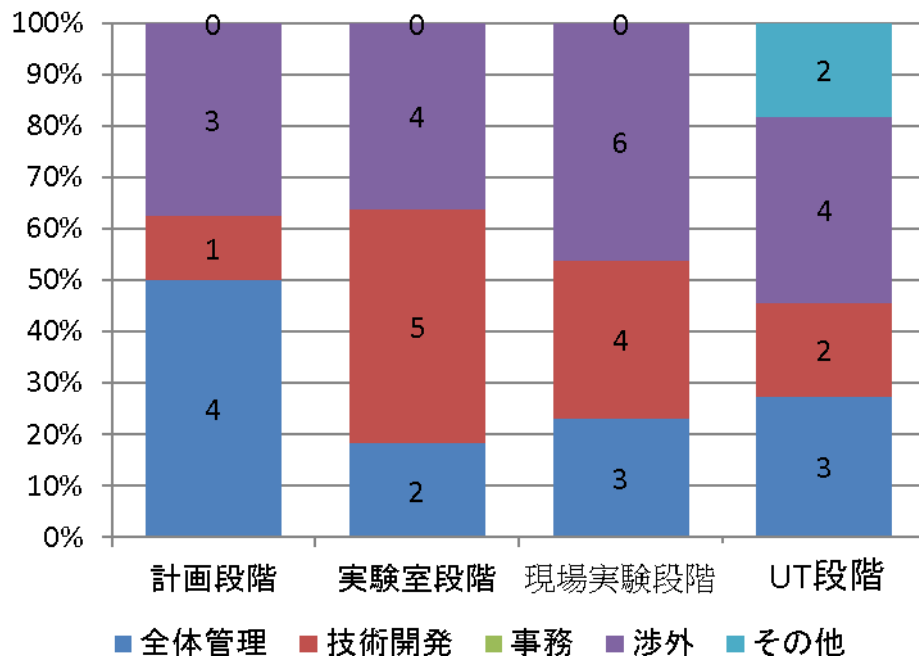


図 5.2-6 介護運搬ロボット フェーズ毎の提言カテゴリ分布

計画段階では全体管理が最も多く、次いで渉外、技術である。実験室段階で技術が増え、現場実験とユーザーテストで渉外が増えている。これは各フェーズで本来作業に集中し、かつ次段以後の準備も行っていることを示す。前章で失敗したプロジェクトに見られたような渉外の遅れや、全体管理の欠如、過度な技術開発への集中も見られない。実際に、ユーザーテストはメディアで報道されるほどに注目され、量産化に向けてプロジェクトは着々と進行している。

図 5.2-7 にフェーズごとのファクタ比率を示す。すべてのフェーズで外部要因と技術要因の和が過半である。これらの課題は短期に解決可能な場合が多く、実際にも大半の課題は解決した。実験室段階で内部要因が増加している。これは、ハードウェアとソフトウェア開発者の間にコミュニケーション不足があり、開発が遅延したことを示している。

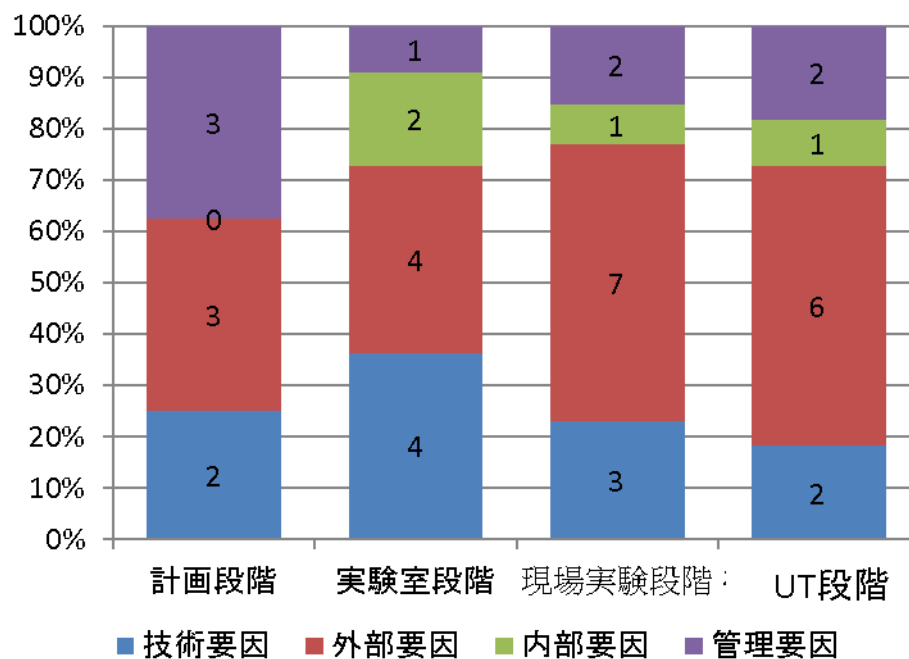


図 5.2-7 運搬ロボット フェーズ毎の提言ファクタ分布

本プロジェクトの特徴は、フェーズごとにカテゴリが適切に推移し、また、全般に管理と内部要因が少ないことにある。十分な管理体制のもとに、当初からユーザーニーズを取り込んだ仕様が作成され、途中でトラブルが生じても回復し、ユーザーテストを経て量産化が決定した過程が可視化されている。

表 5.2-3 運搬ロボットの提言分析評価

PM の柔軟性	28%
ニーズの不確実性への対処	41%
技術の不確実性への対処	64%

5.2.4 歩行支援ロボットプロジェクトの評価

図 5.2-8 は WAR プロジェクトについて収集した提言を横軸をフェーズ、縦軸をカテゴリとして分類した図である。

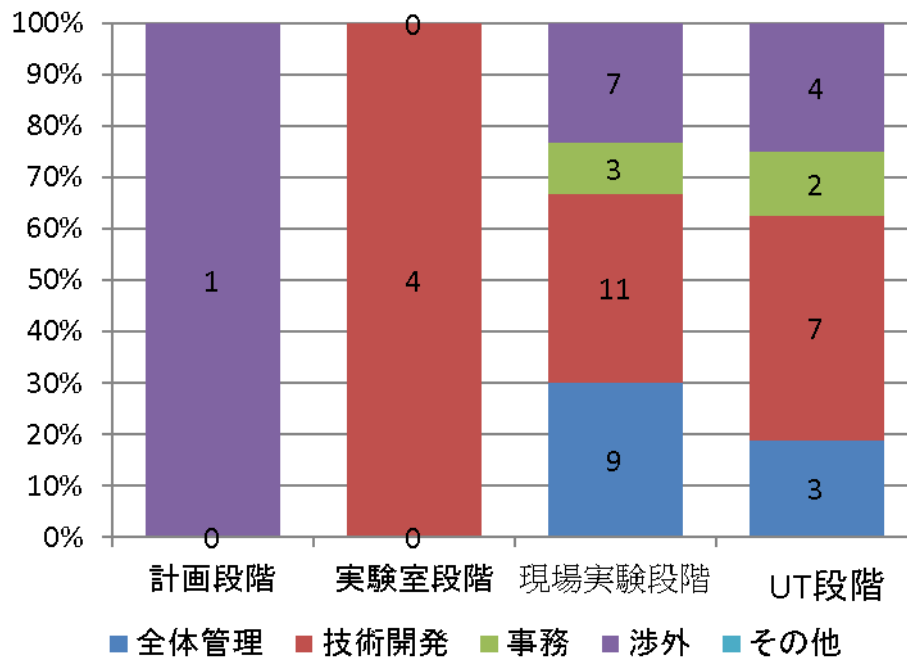


図 5.2-8 歩行支援ロボットの各フェーズにおけるカテゴリごとの提言分布

全体管理に関して計画、実験室の段階でほとんど提言がなく、有効な作業がされていないことが読み取れる。このため各段階で、担当者が配置されないための開発の中断、仕様書等文書の喪失、開発仕様の頻繁な変更などの障害が発生した。後半のフェーズでもなお開発に相当程度の有効作業が発生していることから、仕様変更による開発工数の増大が理解される。この結果一貫した開発が行えず、ユーザーテストを行うも、商品化に至らずに差し戻しとなった。

後半で全体管理業務が増えているのは、前半の全体管理が不十分だったためである。開発チームが、複数の潜在顧客向けに複数乱立し、試作機が複数でき、それらの調整が行われた。

渉外業務が計画段階で発生していることが読み取れる。これは、屋外で使うロボットに関しては、道路交通法など関連する法規制が多いためである。外部を巻き込んだユー

ザーテストについては、よく準備されていることがわかる。

実験室段階では過大に開発に集中していることが読み取れる。これは技術の完成度が低く、開発に集中せざるを得なかったことによるもので、その後の作業を遅らせた。

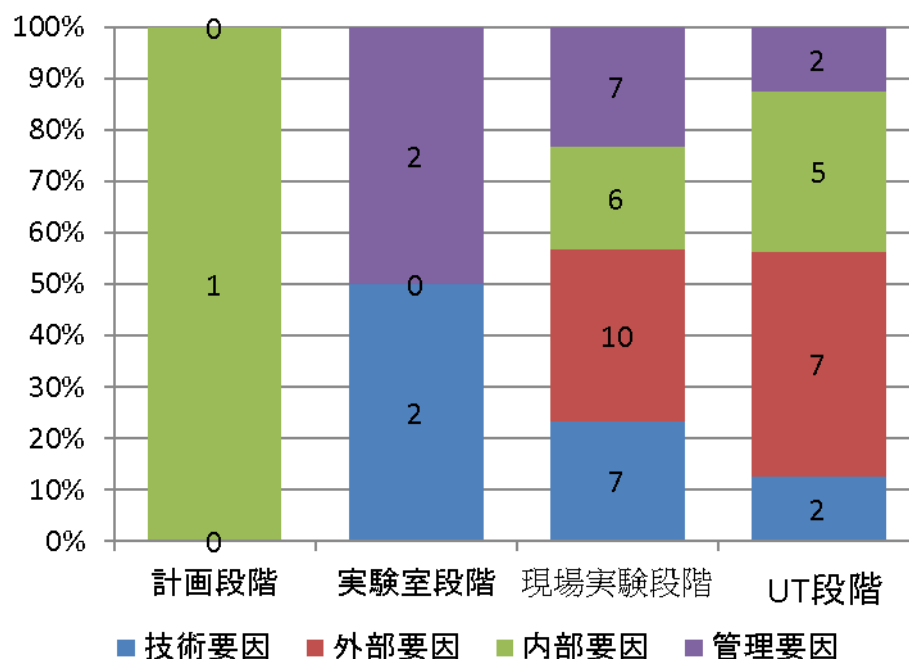


図 5.2-9 歩行支援ロボット フェーズ毎の提言ファクタ分布

本プロジェクトでは以下のような提言が出されている。「アクティブキャストの最高速度が公道走行の規制を受ける時速 6km を超える可能性があるため、現地警察へのが必要」「歩行支援ロボットの後輪は、固定すれば直進性が増し、自由輪にすれば旋回性能が向上する。どちらを優先するかは導入場所に依存する。今回のスーパー内実験では、現地ヒアリングにより、旋回性能を優先した」これらは、実験室や現場実験段階で法規制や顧客に配慮し、外部と連携を取りながら進めていたために出てきた提言である。このようにユーザーテストの準備は適切に行われている。

本プロジェクトの特徴は、内部要因と管理要因という組織固有の問題が多く、無駄な作業を多く行っている。早くから渉外を行ったためユーザーテストまで進んだが、そこで想定用途でのニーズの低さが判明し、別用途での開発へ差し戻しとなった。現在、災害対策からリハビリに用途を変更し、開発を継続している。

表 5.2-4 歩行支援機の提言分析評価

PM の柔軟性	4 3 %
ニーズの不確実性への対処	8 %
技術の不確実性への対処	5 0 %

5.2.5 観光案内ロボットプロジェクトの評価

図 5.2-10 は SGR プロジェクトについて収集した提言を横軸をフェーズ、縦軸をカテゴリとして分類した図である。なお、本章の分析の時点ではユーザーテストをまだ行っていない段階であったため、その提言がでていない。

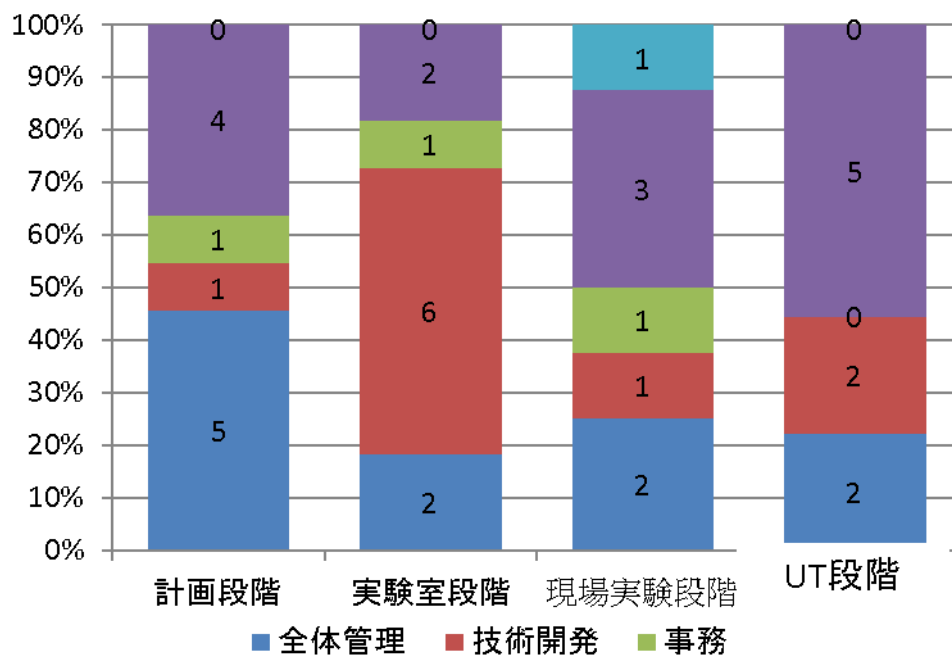


図 5.2-10 観光案内ロボットの各フェーズにおけるカテゴリごとの提言分布

①からは、計画段階で、全体管理とともに渉外に多くの時間を割いていることが読み取れる。これは、導入現場からの要求を開発に取り入れるため、開発初期段階から導入現場を探したためである。②からは、実験室段階では開発に集中していることが読み取れる。これらの有効作業も議事録や現場担当者の認識と一致している。

③にみられるように、現場実験段階で「その他」の提言がでている。この内容は、大学との共同研究開発に関するもので、開発内容まで契約段階から詰め、契約責任者である教員との打ち合わせの場に、実際に作業を担当する学生を同席させるべきという提言である。大学の担当者は留学生だったため、言語の問題でミスコミュニケーションが起きた。現場実験段階になって、大学での開発物が要望と違うことが判明したために、この提言がなされた。この障害は、実際には現場実験より前のフェーズに起因している。

「その他」の提言については、複数カテゴリ・フェーズにまたがるものが入ることがあるため、提言の数だけでなく内容まで把握しないと原因分析が正しく行えない。

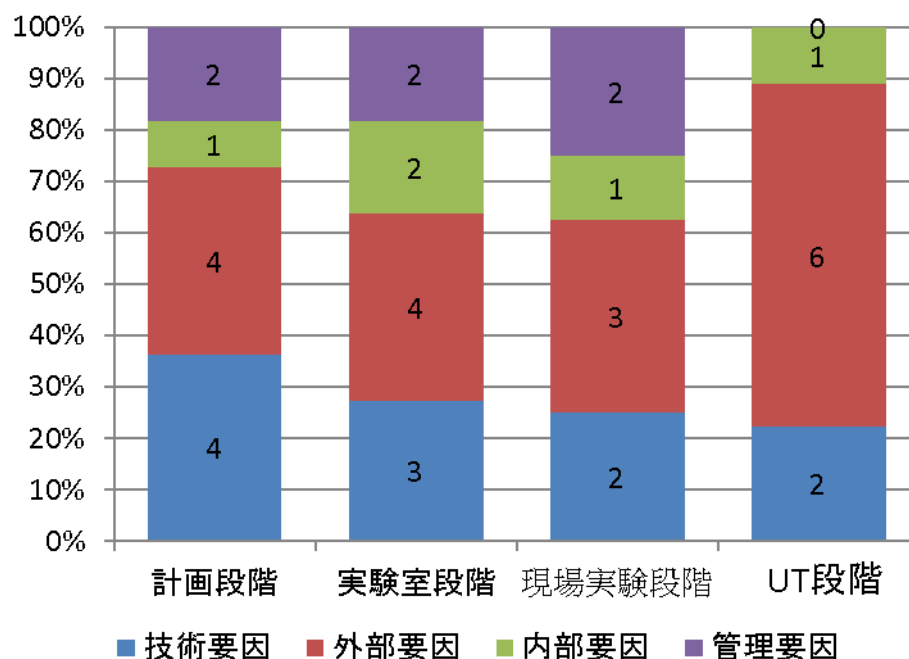


図 5.2-11 観光案内ロボット フェーズ毎の提言ファクタ分布

図 5.2-11 は、提言件数を横軸をフェーズ、縦軸をファクタの比率で示した図である。すべてのフェーズで外部要因が最も多く、技術要因も多い。外部要因は利用環境を変えれば解決し、技術要因もアイデア創出により解決する。ともに管理と内部要因に比べ解決が容易であり、全体進捗への影響は小さい。

提言例として、フェーズは計画、カテゴリは渉外、ファクタは外部の例を示す。「ロボットへの期待値の高さにより見込み顧客から商品化不可能な仕様を求められるため、現状技術の説明をしっかりと行う必要がある。」これは計画段階からニーズとシーズを整理し、かつ顧客に説明することで、責任ある現実的な開発計画を策定したことを示している。開発は順調に推移し、製品への顧客満足度も高かった。このように、提言の分類と分析により、プロジェクトの評価と成功原因の推定が可能となる。

表 5.2-5 観光案内ロボットの提言分析評価

PM の柔軟性	2 6 %
ニーズの不確実性への対処	4 3 %
技術の不確実性への対処	6 4 %

5.2.6 テレプレゼンスロボットプロジェクトの評価

図 5.2-12 は TPR プロジェクトについて収集した提言を横軸をフェーズ、縦軸をカテゴリとして分類した図である。

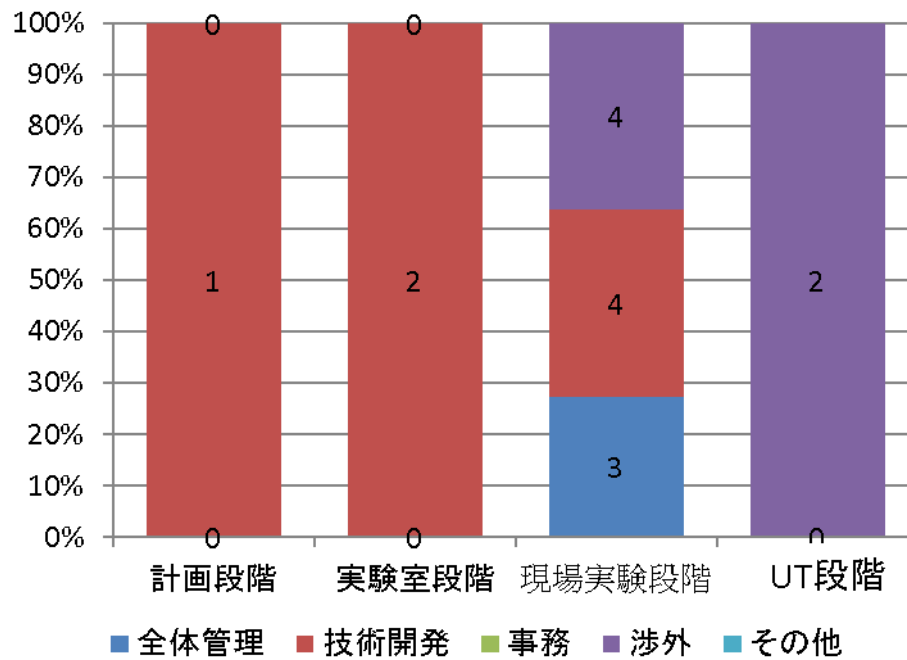


図 5.2-12 テレプレゼンスロボットの各フェーズにおけるカテゴリごとの提言分布

TPR ではプロジェクト全体の構成や人員配置など組織づくりをすることなくいきなり開発に突入している。現場実験段階に入ってようやく全体管理や渉外をはじめており、ユーザーテスト段階では、渉外に集中しているのが読み取れる。開発は正常に進行しておらず、抜本的な対策を全体管理で講じることもなかったため、後半で開発が中断し、最終的にユーザーテストで開発中止の判断となった。

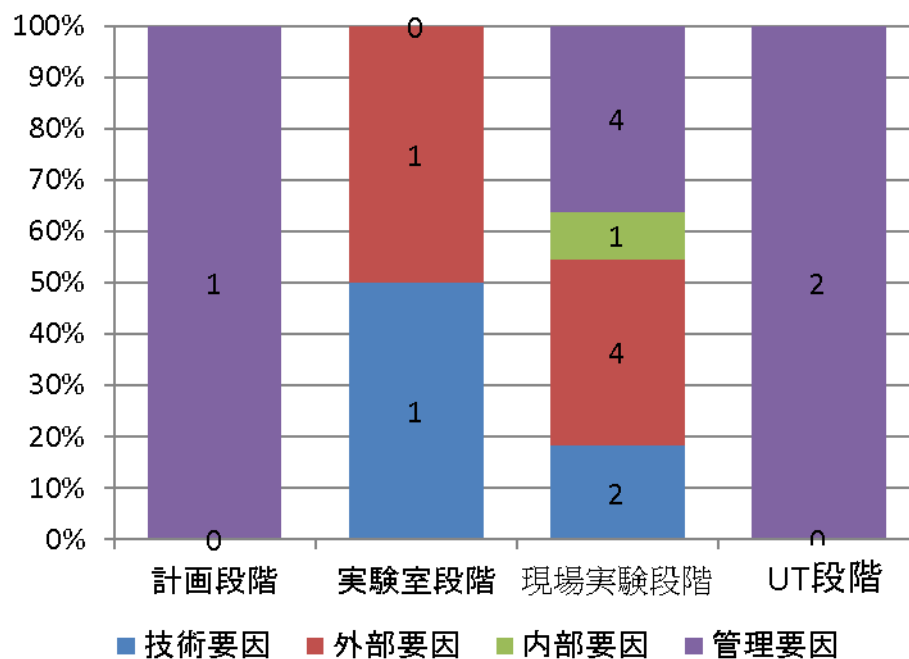


図 5.2-13 テレプレゼンスロボット フェーズ毎の提言ファクタ分布

計画段階は技術開発への集中がみられるが、原因は管理要因である。具体的には要求仕様の確定に関する提言であった。実験室段階は十分な開発が行われ、順調に推移したが、ユーザーテストでは当初目標が曖昧であったために管理要因の提言が増大した。

本プロジェクトの特徴は、管理体制が脆弱であったため、仕様策定が不十分なまま開発とユーザーテストを行い、無駄な開発と渉外を行なったことにある。

表 5.2-6 テレプレゼンスロボットの提言分析評価

PM の柔軟性	4 4 %
ニーズの不確実性への対処	0 %
技術の不確実性への対処	8 0 %

5.2.7 健康提案システムプロジェクトの評価

図 5.2-14 は、LPS プロジェクトについて収集した提言を、横軸をフェーズ、縦軸をカテゴリとして分類した図である。

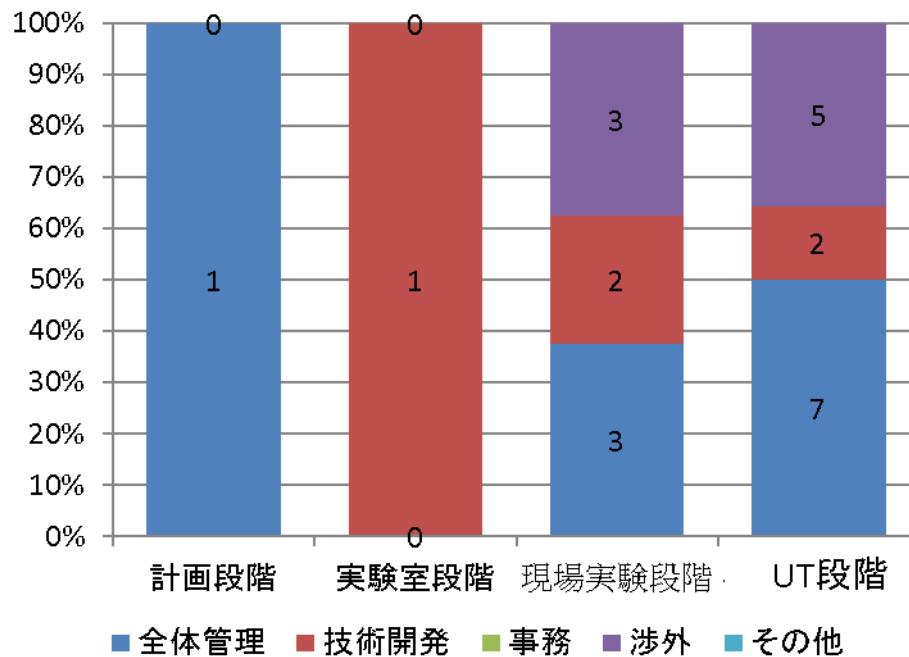


図 5.2-14 LPS の各フェーズにおけるカテゴリごとの提言分布

①からわかるようにこのプロジェクトでも、計画段階で全体管理以外の作業がないことが読み取れる。開発への着手がなかったため、仕様が現実に即したものになっておらず、本格開発が遅れた。さらに、③でわかるように、渉外も遅れたために、想定ユーザーの意向も取り入れることなく開発が進み、結果としてユーザーテストまでは至ったが、ニーズが不明であるという結論に至っている。

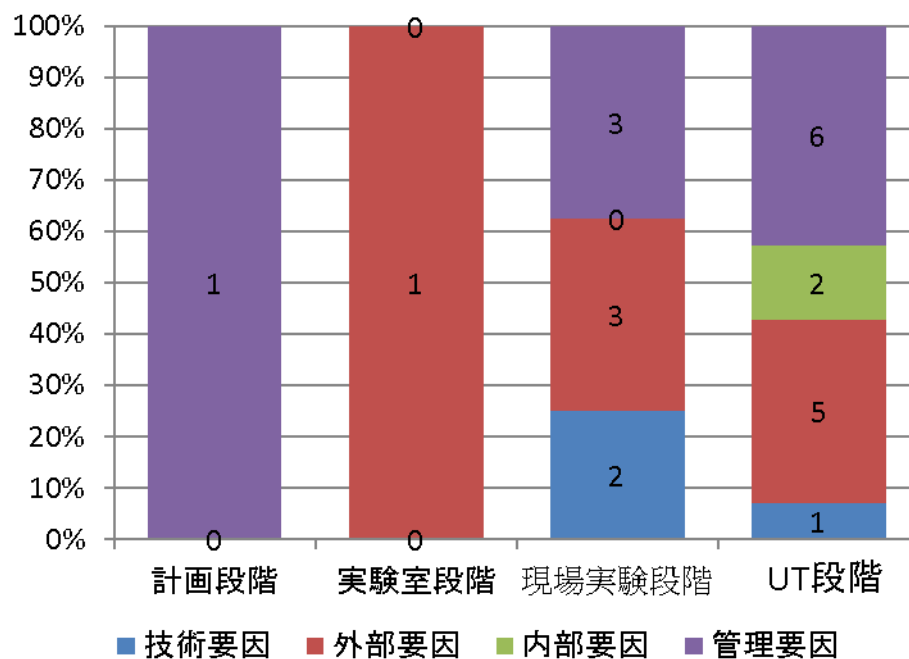


図 5.2-15 健康提案システム フェーズ毎の提言ファクタ分布

ファクタの分布で見ていても管理要因が多いことがわかる。プロジェクトの主導に問題があり、計画がきちんと立案されないまま、実験室段階で強引に開発を進め、結果として現場実験段階以降でも管理要因などにより、全体運営にかかわる作業をせざるを得ず、プロジェクトとして正しく進まなかったことがわかる。

表 5.2-7 健康提案システムの提言分析評価

PM の柔軟性	2 1 %
ニーズの不確実性への対処	0 %
技術の不確実性への対処	3 3 %

5.2.8 仮想同居システムプロジェクトの評価

図 3.2-5 は、VTLS プロジェクトについて収集した提言を、横軸をフェーズ、縦軸をカテゴリとして分類した図である。

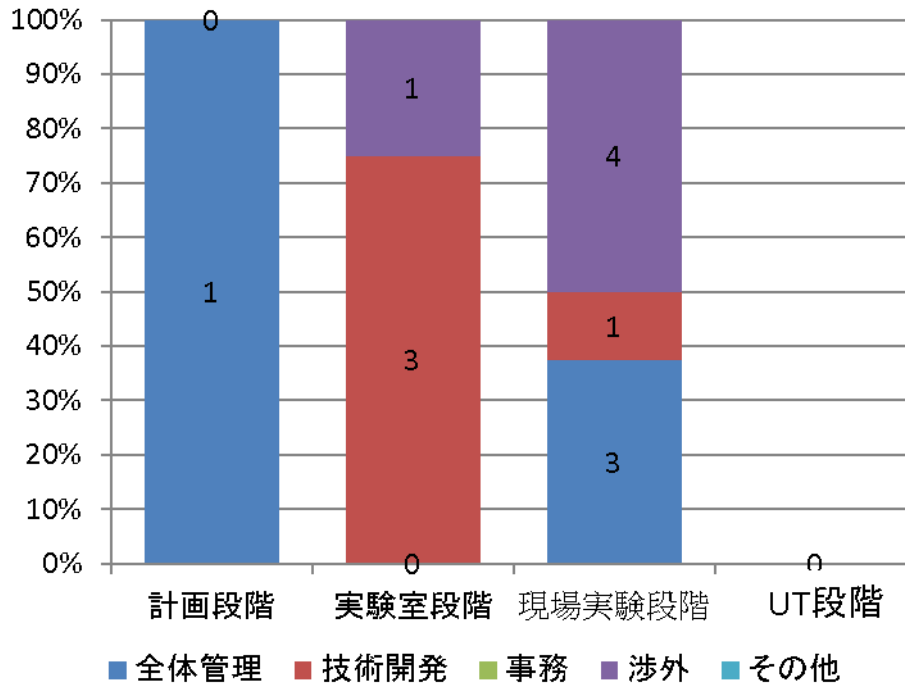


図 5.2-16 仮想同居システムの各フェーズにおけるカテゴリごとの提言分布

計画段階で全体管理以外の作業がないことが読み取れる。開発への着手がなかったため、仕様が現実に即したものになっておらず、本格開発が遅れた。計画段階は提言が 1 件しかなく、DES でも 2 件、WAR でも 1 件と少ない。これは、計画段階はノウハウの獲得が少なく、提言が出にくいためである。これらでは、提言数の比率は意味がないため、提言の有無で有効作業を評価している。

実験室段階では開発に集中していたことが読み取れる。これは開発開始が遅れたために、開発以外の時間がとれなかったためである。

現場段階で全体管理が急激に増えていることを示している。これは開発要員の不足が判明したためである。少ない要員での開発に移行するため、全体の計画や戦略の練り直しの必要が発生し、全体管理業務が増大した。最終的に VTLS はユーザーテストへ到達

することなく開発が凍結された。

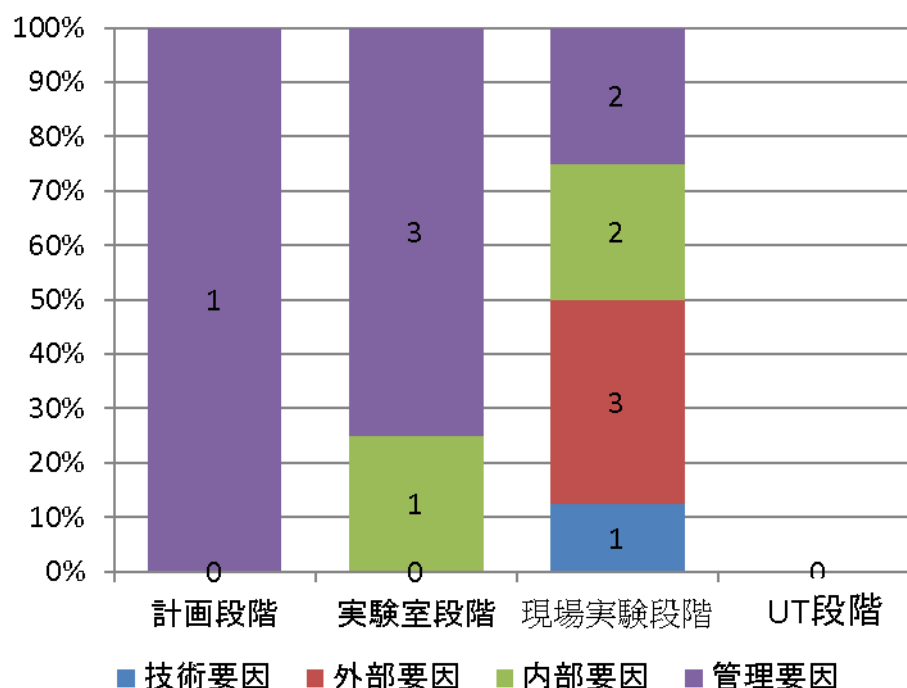


図 5.2-17 仮想同居システム フェーズ毎の提言ファクタ分布

計画段階から管理要因が多く、実験室段階で内部要因が発生している。これは、組織体制に問題があったことを示す。現場実験では機材が間に合わず、以下の提言が出された。「人手不足で開発が遅れたため、サービス業者が集めていた協力者に参加を断られた。実験協力者を募る場合は開発が遅れないように余裕をみておくべき。」遅れの原因は開発者の人数不足にあり、組織構成に問題があった。

本プロジェクトの特徴は、計画段階で全体管理のみが行われ、また、管理と内部要因が多いことにある。要員不足により開発が進まず、計画変更も行われなかった。

表 5.2-8 仮想同居システムの提言分析評価

PM の柔軟性	3 1 %
ニーズの不確実性への対処	2 0 %
技術の不確実性への対処	0 %

5.2.9 災害情報システムプロジェクトの評価

図 5.2-18 は、DIS プロジェクトについて収集した提言を、横軸をフェーズ、縦軸をカテゴリとして分類した図である。

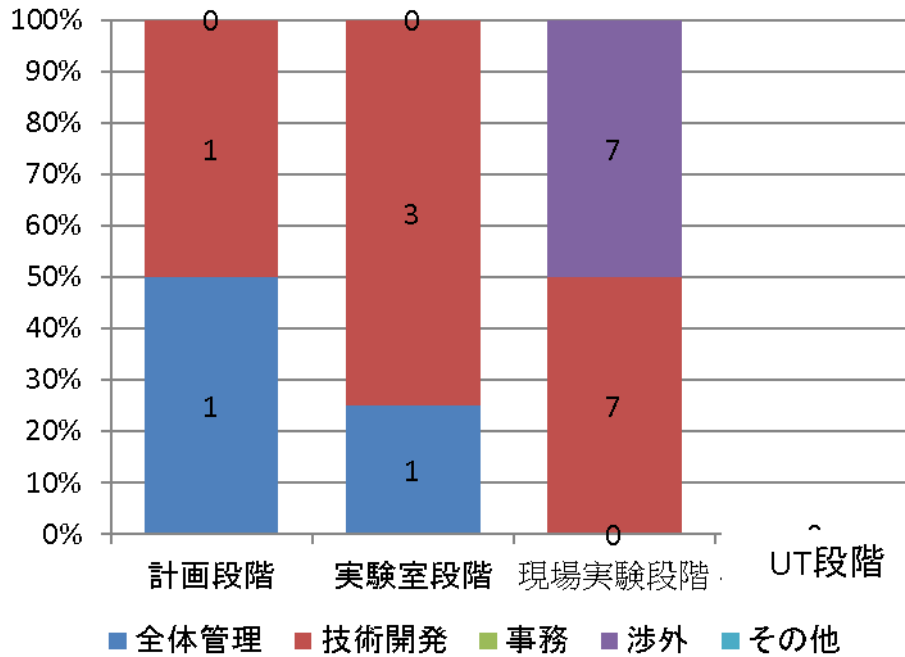


図 5.2-19 DIS の各フェーズにおけるカテゴリごとの提言分布

①から読み取れるように、このプロジェクトでも、計画段階で全体管理以外の作業がないことが読み取れる。開発への着手がなかったため、仕様が現実に即したものになっておらず、本格開発が遅れた。さらに、③でわかるように、渉外も遅れたために、想定ユーザーの意向も取り入れられずに開発がなされた。②から、実験段階でも技術開発より全体管理が多くなっていることがわかる。これは、開発者がシステム全体の意図を把握しておらず、何度も仕様のレビューを繰り返したり、仕様の変更を繰り返したため、開発が遅延した。最終的に災害そのもののユーザーテストが困難であることと、想定ユーザーが見つからなかったことからユーザーテストに至らなかった。

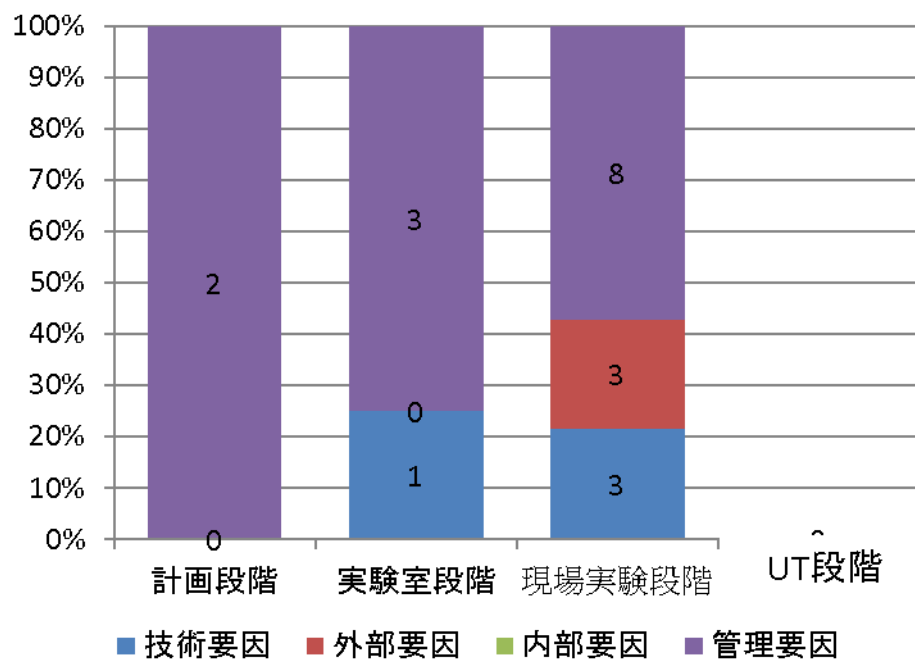


図 5.2-20 災害情報システム フェーズ毎の提言ファクタ分布

計画段階から管理要因の比率が高く、リスクの兆候が見える。管理要因の内容は、頻繁な計画および仕様変更であった。仕様変更は渉外の遅れによるもので、実験室段階から、作業全体が遅延した。

本プロジェクトの特徴は、カテゴリでは順調に見えるが、実態は無駄な開発が行われ、それがファクタから推察できる点である。管理要因によってユーザーテストに至らなかった。

表 5.2-9 災害情報システムの提言分析評価

PM の柔軟性	3 0 %
ニーズの不確実性への対処	0 %
技術の不確実性への対処	0 %

5.2.10 スマート安全靴プロジェクトの評価

図 5.2 -21 に、提言数のフェーズごとのカテゴリ比率を示す.

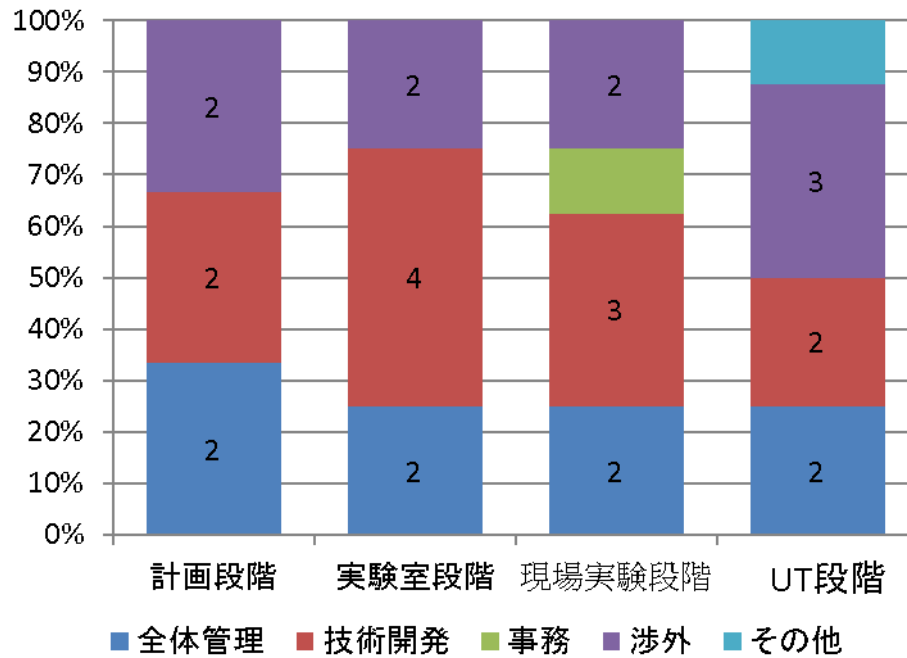


図 5.2-21 スマート安全靴 フェーズ毎の提言カテゴリ分布

全体を通して全体管理をしっかりと行うように人員配置や計画の周知などを行ったため、全体管理が全フェーズで確認できる。また、最初期から渉外として想定顧客との接触を、担当を定めて行っていたため、これも確認できる。

図 5.2-22 にフェーズごとのファクタ比率を示す。

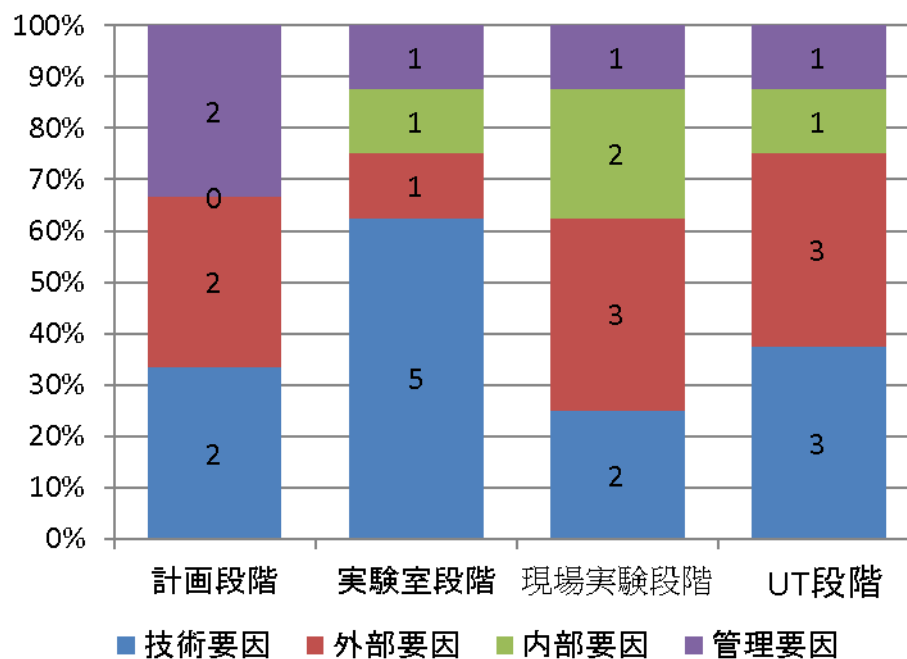


図 5. 2-22 スマート安全靴 フェーズ毎の提言ファクタ分布

全段階でプロジェクト固有の問題（技術と外部要因）が多い。組織固有の問題に関しては、プロジェクト前半では管理要因が多いが、後半では内部要因が多くなっている。これは前半で管理要因での作業が増えたため、後半では担当や分業間でのコミュニケーションを増やし、組織としての運営に努めたためである。

スマート安全靴の開発プロジェクトはユーザーテストによりニーズが確認され、現在量産化に向けて開発を検討している段階である。

表 5. 2-10 スマート安全靴の提言分析評価

PM の柔軟性	4 3 %
ニーズの不確実性への対処	4 4 %
技術の不確実性への対処	4 2 %

5.3 提言分析結果

表 5.3-1 10 プロジェクトの提言分析評価

	PM の柔軟性	ニーズ不確実性対処	技術不確実性対処
MS マッスルスーツ	45%	40%	67%
CR 介護施設運搬ロボット	28%	41%	64%
SGR 観光案内ロボット	26%	43%	64%
SS スマート安全靴	37%	44%	42%
DES 被災度判定計	43%	42%	33%
WAR 歩行支援ロボット	43%	8%	50%
TPR テレプレゼンスロボット	44%	0%	80%
LPS 健康提案システム	21%	0%	33%
VCLS 仮想同居システム	31%	20%	0%
DIS 災害情報システム	30%	0%	0%

表 5.3-1 は 10 件のプロジェクトに対する提言分析評価の結果である。数字は現段階では相対評価であり、5.1 に定めたように計算される。

○プロジェクトマネジメントの柔軟性

全体提言の中での技術カテゴリの割合（技術カテゴリの提言数/全提言数）

○ニーズの不確実性への対処

外部要因の前半フェーズへの集中度（計画・実験室段階の外部要因の提言数/外部要因の提言数）

○技術の不確実性への対処

技術要因のフェーズ特定のフェーズへの集中度（1 - （技術要因が最も集中したフェーズの全フェーズに対する提言数割合））

40%を超えたものを赤字で示している。ユーザーテストに成功したものは3つの数字が高い傾向にあり、本章で追加したマッスルスーツ、運搬ロボット、観光案内ロボット、スマート安全靴の分析にもこの傾向はみられる。

5.4 考察

提言分析法についての考察を記す。

絶対数と比率について、本研究では、提言の比率を扱っている。少数しか出ていない提言の比率が高い、という評価と、多数出た提言の比率少では、提言数としては逆転している。提言の件数は出した人の記憶や性質に左右されるが、提言の比率は、その提言を出した人の課題意識に依存し、その人の作業割合という観点では提言数の多寡にかかわらず、実情を示していると考えられる

また、本研究では、ユーザーテストにも至らないようなプロジェクトが存在し、予算額としても比較的少額のものばかりを取り扱っている。開発の実情としては、多くの自治体から出されている研究開発補助は数百万円規模のものが多く、事例の数としてはそちらのほうがむしろ多い。予算額が大規模なプロジェクトについては、技術やニーズの不確実性がこうした小規模のプロジェクトよりも、事前に潰されて確実な運営がなされることから、本手法は適用できないと考えられる。

件数ベースでは、大規模なプロジェクトよりも小規模で低レベルのプロジェクトのほうが数が多い。その中で商品化に至らないプロジェクトがあることについて、次のように評価できる。商品化に至らないまでも、本研究で収集したように、技術や顧客に対する暗黙知が実施者に蓄積される。実際に新規技術への挑戦によって、別の受注案件を獲得した企業もある。産業振興を本質とする補助金制度としては、商品化に至らなくとも、こうしたプロジェクトを実施する意義は決して低いとは言えない。

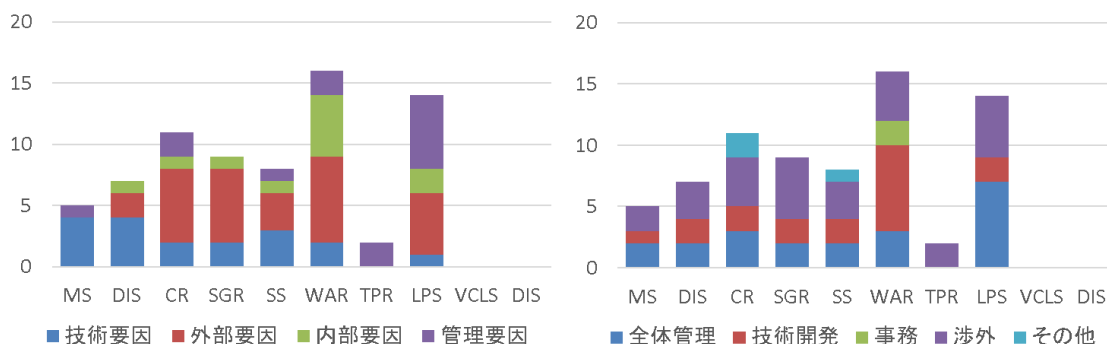


図 5.4.1 ユーザーテスト段階における各提言の数

技術、ユーザーテストにおいては特に顧客の知見を収集できることに意義がある。ユーザーテストで多くの提言が出されたのは歩行支援機と健康提案である。健康提案は、

産業技術総合研究所が主体のプロジェクトで、商品化につながらなくとも様々な情報の収集がなされた。歩行支援機は災害避難用途でのニーズはないと判定されたが、介護リハビリ用途でのニーズがみつかり、現在そちらの分野での実証実験や試験導入を行っている。テレプレゼンスロボットのように、ほとんど提言も出されないようなケースでは、ニーズがないと判断された時点でプロジェクトが終了し、現在は何の活動もない。

このように、ユーザーテストを行うことで、知見が残れば、協力の枠組みが残り、これも産業振興の一側面と考えられる。

表 5.4-1 は実用化開発プロジェクトの結果とその後を示す。

表 5.4-1 10 件の実用化開発プロジェクトの結果

	ユーザーテスト	後プロセス
MS マッスルスーツ	実施	上市
DES 被災度判定計	実施	上市
SS スマート安全靴	実施	上市予定
CR 介護施設運搬ロボット	実施	上市予定
SGR 観光案内ロボット	実施	一次中断
WAR 歩行支援ロボット	実施	開発からやり直し
TPR テレプレゼンスロボット	実施後	開発凍結
LPS 健康提案システム	実施後	開発凍結
VCLS 仮想同居システム	未実施	×
DIS 災害情報システム	未実施	×

マッスルスーツ，被災度判定計，介護施設運搬ロボット，スマート安全靴は途上か上市完了かの違いはあれど，ユーザーテストを実施し，その結果上市判断が下り後のプロセスが進行している．観光案内ロボットはニーズは確認されて上市判断は下ったが，その後中断となっている．歩行支援ロボットは用途についてフィードバックがあったため，開発からやり直しとなっている．テレプレゼンスロボット，健康提案システムはユーザーテストまで到達したものの，ニーズがないと判断されて開発凍結となった．仮想同居システムと災害情報システムはそもそもユーザーテストまで到達しなかった．

今回の提言分析により抽出されたプロセス管理の課題は，以下のようにも一般化できる．**WAR** のように①計画段階では過小な全体管理は後に開発体制の混乱を招く．一方で，**VTLS** のように②計画段階で開発に着手をしなければ仕様の確定が遅れる．同じく**VTLS** のように③実験室段階で過大に開発に集中することは，技術の完成度の低さを意味し，開発の遅れを招く．**DES** のように④現場実験段階では，それまでに渉外を行っておらずにこの段階から取り組み始めると，潜在顧客の選定に困難が生じ開発を遅らせる．当初から渉外を行ってうまくいっているのは **SGR** や **WAR** である．

以上から，提言分布と事業の成否には以下の関係が読み取れる．①計画段階では過小な全体管理は後に開発体制の混乱を招く．(**WAR** の事例) ②一方で全体管理のみを行い，開発に着手をしなければ仕様の確定が遅れ，開発を遅らせる．(**VCLS**) ③実験室段階で過大に開発に集中することは，技術の完成度の低さを意味し，開発の遅れを招く．(**VCLS**) ④現場実験では，早期の準備が必要である．この段階から取り組むと，潜在顧客が選定できず，実施が遅れる．(**CDIS**) 計画段階から渉外を行えば成功する．(**SGR**, **CR**)．

図 5.4-1 に，プロジェクトごとのファクタの比率を示す．ユーザーテストに達した左の 6 プロジェクトでは，技術と外部要因の和が 50%を超えている．さらに，上市可能と判断された左の 4 プロジェクトでは 70%を超えている．これより組織固有の問題（PM と内部要因）ではなく，プロジェクト固有の問題（技術と外部要因）に集中できたプロジェクトほど成功することがわかる．組織固有の課題が多い場合，商品開発に関わらない無駄な作業が増えるためである．

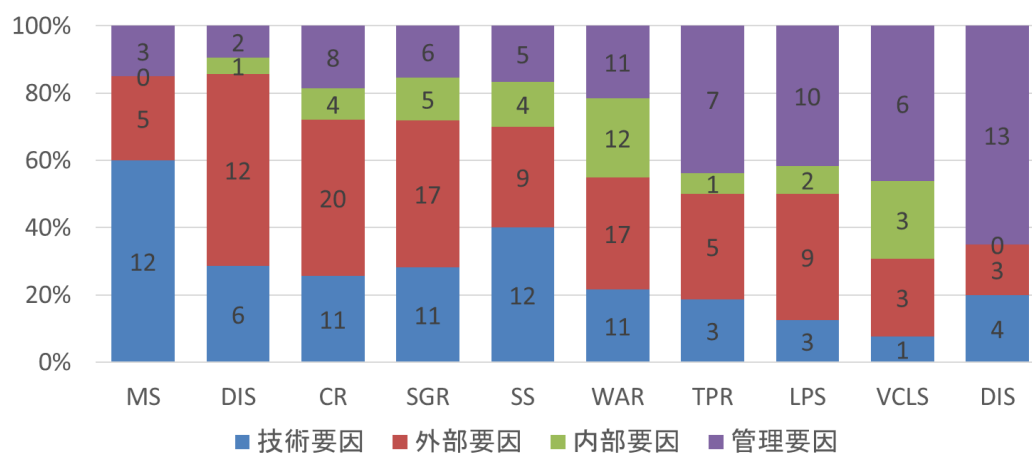


図 5.4-1 各プロジェクトのファクタ分布

プロジェクトの提言数のフェーズごとのカテゴリ比率について、いくつかの有用な示唆があることを示した。その他の関係について以下に示す。

図 5.4-2 にプロジェクトの固有ファクタ（外部要因・技術要因）率を示す。

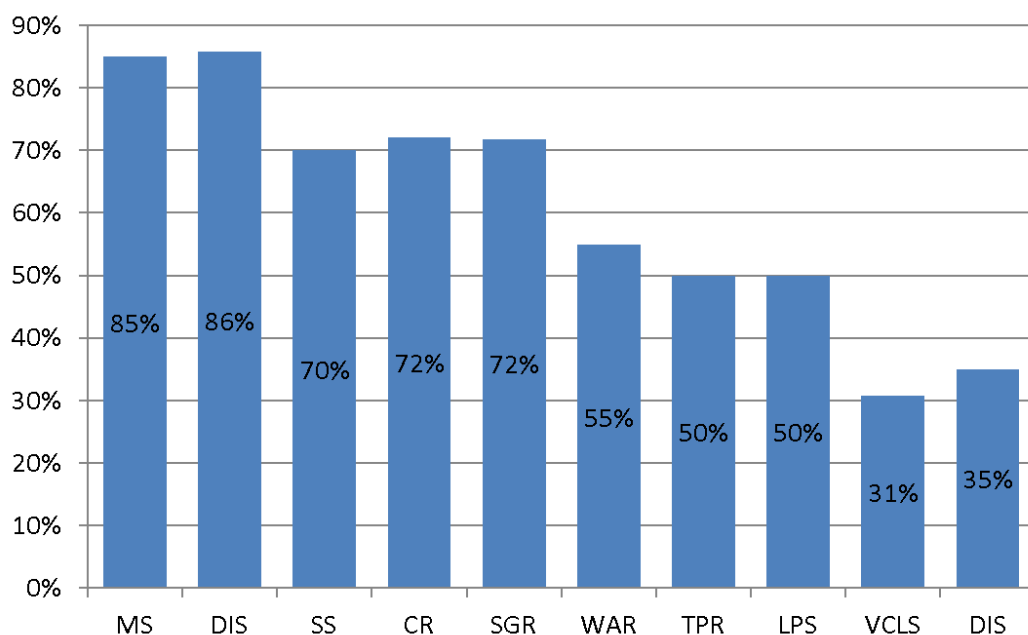


図 5.4-2 プロジェクトの固有ファクタ率

外部要因や技術要因が高いということは、組織や PM 的な要素での有効作業量が少ないことを意味し、顧客や市場、技術開発へ効率よく作業を割り振ることができたこ

とを示す。従って、固有ファクタ率が高いほど、実用化開発プロジェクトの成功率は高くなると考えられ、グラフと一致する。9件のプロジェクトでは固有ファクタ率の有効水準を示すことは困難であり、この点は今後の課題である。今回集めた事例は、開発技術がソフトウェアから部品までと広く、また、技術の完成度や組織構成がプロジェクトごとに異なる。このため、利用者から見れば、自身のプロジェクトに近いプロジェクトが少ない。

図 5.4-3 に各プロジェクトのファクタ網羅率を示す。網羅率は4つのフェーズで全てで技術要因、外部要因、内部要因、管理要因の4つのファクタの、つまり16分類の提言が存在する場合を100%と定め、これがグラフの100%に該当する。

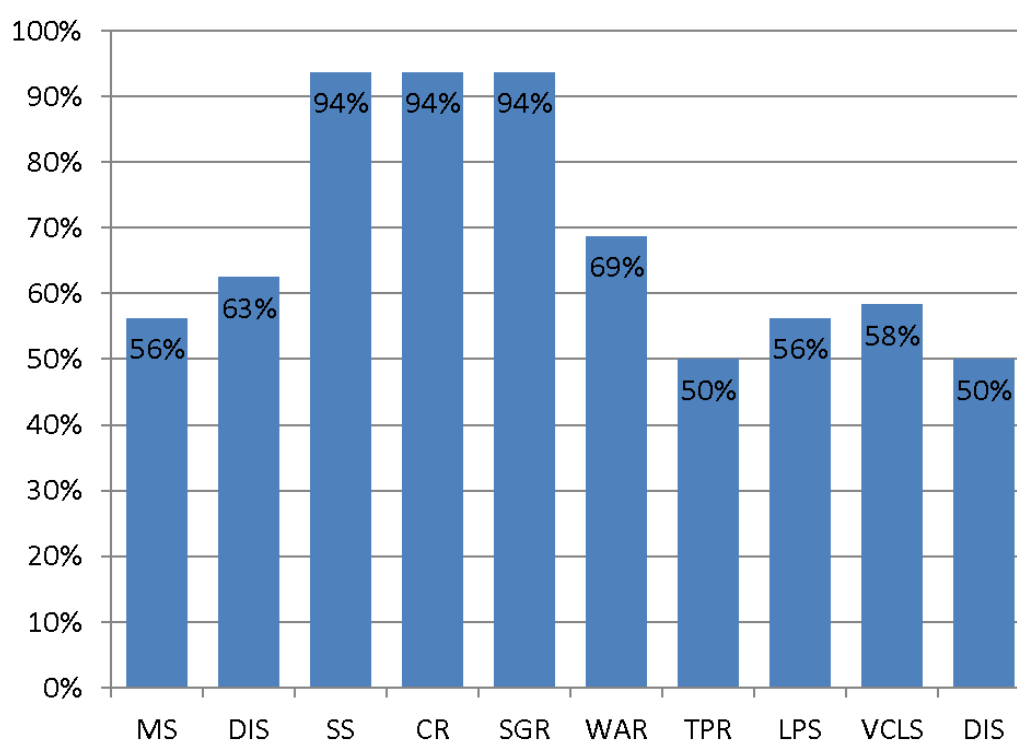


図 5.4-3 各プロジェクトのファクタ網羅率

概ねユーザーテストまで到達し、ニーズの評価がされたものは高い結果となっているが、マッスルスーツや被災度判定計は歩行支援ロボット同程度で低いうえ、失敗したプロジェクトとの有意な差もない。内部要因や管理要因は前述の通り少ない方がプロジェクトの成功率は高くなることから、ファクタ網羅率と実用化開発プロジェクトの成否には有意な関係はないといえる。

図 5.4-4 にプロジェクトのカテゴリ網羅率を示す。グラフ上の 100%はすべてのフェーズで全体管理、技術開発、渉外、事務、その他の5つのカテゴリの提言が存在することを示す。

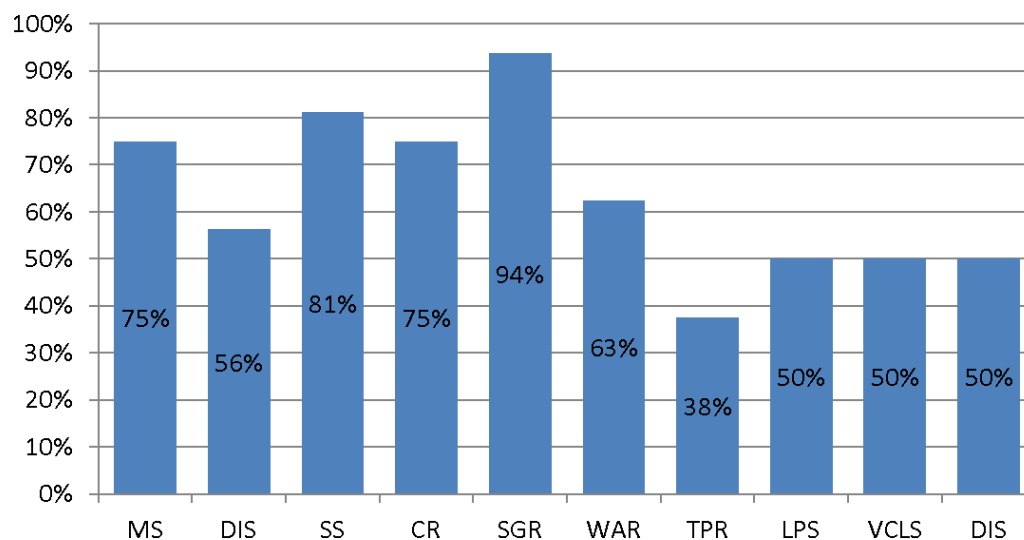


図 5.4-4 プロジェクトのカテゴリ網羅率

全フェーズを通してのカテゴリ網羅率は上市、あるいはユーザーテスト到達との有意な関係は読み取れない。カテゴリ別の作業は、事務やその他などそもそも出るかどうか分からないカテゴリを含むうえ、全フェーズで出るかどうかはプロジェクトの成否とは関係がないと考えられる。

5.5 結論

ユーザーテストを含むロボット開発プロジェクトのプロセスを評価する手法として、提言分析法を提案し、10件の開発事例に適用した。

ユーザーテストに成功したプロジェクトは

- 1)技術開発に集中できるよう柔軟なプロジェクトマネジメントを実施し
- 2)ニーズの不確実性を早期に潰しながら
- 3)技術開発の不確実性を段階的に減らしている

以上の傾向が、4件の新規プロジェクトについても、同様であることが確認できた。限定的ではあるが、妥当性を確認した。

提言分析手法は、進行中のプロジェクトの中間的な評価であるステージゲート法[25]への応用も可能であることは第3章に示した。ステージゲートは多くのプロジェクトの審査で実施されるため、週報をベースとした提言によってグラフィカルに課題の抽出や実態の把握ができることは有用である。

第6章 提言の応用としての提言データベース

前章において、提言分析を行ってプロジェクトの事後評価をおこなった。さらに提言がプロジェクトの運営改善に資するには、無数の提言の中から、閲覧者にとって有益な提言を抽出する必要がある。本章では、提言分析法で利用した分類法をもとに、情報推薦の仕組みの一つである内容ベースアプローチの手法に従い、提言をフェーズ・カテゴリ・ファクタの3つの特徴量と紐づけてデータベース化することで、特徴が近似する提言が提示される仕組みを提案する。すなわち、提言データベースの活用を促すためのデータベース構造について検討する。

第4章において提言の有用性を確認したが、提言数はプロジェクトごとに増加し、すべてを読むことは現実的ではない。また、読む人によって提言の有用性が変わることもわかった。したがって、提言を活用するには、自分が実施中のプロジェクトに有益な提言を、無数の提言から抽出する手法が必要である。これには、開発品の類似性だけでなく、技術と市場の成熟度、法規制の強さ、開発の段階、開発組織の構成なども影響する。例えば、スマートシューズとマッスルスーツでは、開発品は異なるが、どちらも身に着ける道具のため、安全管理で共通する提言が存在する。本章では、開発品ではなく提言の類似度によって、有益な提言を抽出する方法を提案する。類似度の最も簡単な計測方法は、提言を複数の評価軸で分類し、分類の一致度が高いほど距離が近いとする方法である。これには、網羅的かつ事業の特徴を表現できる分類が適すると考え、前章で述べた分類を用いることとする。

6.1 データベースの構造

一般的なリレーショナル型のデータベースは検索エンジンを利用した検索が可能であるが、情報があまりに多い場合には、目的のデータにたどりつけない情報過多（information overload）に陥る。特に、本研究が対象としている提言のような暗黙知のデータについては、ユーザーに対して未知の事項や見落としている事項を気づかせることが重要である。情報検索に関する研究では、顕在的ニーズに対しては情報検索が有効であり、潜在的ニーズに対しては情報推薦が有効であるとしている [40]。本論文と同様に、研究開発における暗黙知のデータベース化を試みた研究では、単なる検索エンジンの搭載にとどまっており、検索手法に関する検討が必要としながらも、結論を出していない。本研究で構築する提言データベースでは、情報検索は当然であるが、情報推薦についても実施できるように、データベースの構造を規定する。

6.1.1 レコメンダーシステムについての先行研究

情報推薦システム＝レコメンダーシステムとはユーザーの特徴に関するデータベースとアイテムの特徴に関するデータベースを利用して、特定のユーザーの未活用アイテムに関する選好を推定し、それを推薦するシステムである。従来研究におけるレコメンダーシステムは、利用者によるデータの入力、その利用者の嗜好の予測、推薦の提示の3段階で実行される。特に嗜好の予測に関しては様々な研究が行われており、大きくは内容ベースフィルタリングと協調フィルタリングに分けられる [40]。

協調フィルタリングはある程度のデータセットが揃っていることを前提に、予測を立てるもので、インターネット通販をはじめとしたさまざまなWEBサイトで実装されている [41]。協調フィルタリングでは、推薦される情報の特徴ではなく、被推薦者の評価履歴などをもとに、同様な評価履歴を持つユーザーを探し、被推薦者がこれまでに評価したことのないアイテムの推薦を行う。セレンディピティ(serendipity)と呼ばれる、目新しさに、思いがけなさ、予見のできなさ、または意外性を持った推薦可能となる。これまでになかった知見を得られるという点で、提言データベースの趣旨に合致する。しかしながら、協調フィルタリングを実施するには、ある程度のデータセットが必要である。コールドスタート問題と呼ばれるが、閲覧や評価履歴などのユーザーの活動履歴がなければ、「同様な評価履歴を持つユーザーを探す」ことはできない。

協調フィルタリングは、これに対して、図 6.1-1 のようなデータセットで規定される。

		Item					
		I_1	I_2	...	I_j	...	I_n
User	U_1						
	U_2						
	U_a						
	...						
	...						
	U_m						

図 6.1-1 協調フィルタリングのデータモデル

協調フィルタリングとは，全ユーザーの過去の選好データを利用してユーザー近似度を定義し，一定のユーザー群の選好データから，ある特定ユーザーの未知のソリューションに対する選好を推定する手法である．他人の意見を採用する口コミ方式であるとの説明がされることもあり，嗜好の似ているユーザーを定義し，そうした他のユーザーの過去の行動の履歴から予測を行う．

対象となるアイテム群への知識を必要とせず，データセットさえそろっていれば構築でき，システム実装へのハードルは高くない．

ただし，過去の行動履歴が存在しない場合には当然推薦を行うことはできず，アイテムの中には全く推薦に登場しないものも出てくる．

従って，協調フィルタリングを実施できるだけだけのデータを収集するために，上述のような WEB サイトは単なる検索システム，あるいは内容ベースアプローチによる推薦を初期に実施する．本研究では，協調フィルタリングを実施するために活動履歴をためることが困難であるために，まずは内容ベースアプローチによるデータベースを作成する．

内容ベースアプローチとは，全アイテムの特徴への選好を当該ユーザーについて収集していき，既知の特徴への選好から未知のアイテムへの選好へを推定する手法である．システムを構築する側が全アイテムについての知識，いわゆるドメイン知識を持っていることが前提となる．その上で，どの特徴量をシステムの中で使用するかを定義し，アイテム間の近似度を定義する．

従ってデータベース自体の構造，データセットの定義によっても予測精度が決定される．アイテムのドメイン次第で最適な構造は違い，システム実装へのハードルは比較的高い．その反面で少数派の意見を反映させたり，全てのデータセットを表示させたり，といったシステムにすることも可能であり，利用データの蓄積されていない最初期でも適切な推薦が可能である．図 6.1-2 に内容ベースフィルタリングのデータモデルを示す．

	Item_1	Item_2	Item_3	・	・	Item_n		User_a
Spec_a	S _{a1}							??
Spec_b			S _{b3}					A ₂
Spec_c			S _{c3}					A ₃
・								??
・								??
Spec_n								??

図 6.1-2 内容ベースフィルタリングのデータモデル

すべてのアイテムについて、予め定めたすべての特徴 $\text{Spec_a} \sim \text{Spec_n}$ までの評価 S_{ai} を入力しておく。ユーザー a の Spec_b に対する嗜好が明示的あるいは黙示的に取得できたとして、このユーザー a の既知の嗜好パターン $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ がわかった時、すべてのアイテムの中で、この特徴パターンに近いものを推薦する。上述の通り、特徴に関する $\text{Spec_a} \sim \text{Spec_n}$ の設計次第で予測精度が大きく左右される。提言分析法に使用する場合は、 item がプロジェクトに該当し、フェーズ、カテゴリ、ファクタの各分類が spec に該当する。

6.1.2 データベースの構造

前項で述べた内容ベースフィルタリングのデータモデルで提言データベースを作成する。それには、提言データを格納するテーブルと、提言データの特徴を格納するテーブルが必要である。表の列である item はプロジェクト、行である spec には分類を用いる。そして既存のプロジェクトに対して、提言数比を spec ごとに記入する。これで既存プロジェクトの特徴を表す。現在進行中のプロジェクトに対して提言数比を代入すると、類似の開発状況にあった既存プロジェクトを検索することができる。

図 6.1-3 に提言データベースの ER 図を示す。ER 図とはデータベースの各項目（カラム）と関連を示す図であり、各テーブル同士がどの項目によって関連しているかを示す。[42]なお、構造を示すための図であるために、作成日や更新日などを含めた管理系に属する項目は図から排除している。

提言データは提言テーブル（TBL）に格納される。提言タイトルと本文がデータの中身であり、プロジェクト ID で、プロジェクトテーブルで管理するプロジェクトに紐づけられる。タグはタグテーブルに登録され、分類も行えるように TBL タグ分類テーブルを作成している。提言とタグは検索用の提言タグ検索テーブルによって多対多で紐づけられている。推薦関連以外のテーブルは正規化されており、タグの変更や追加なども容易に実行できる。

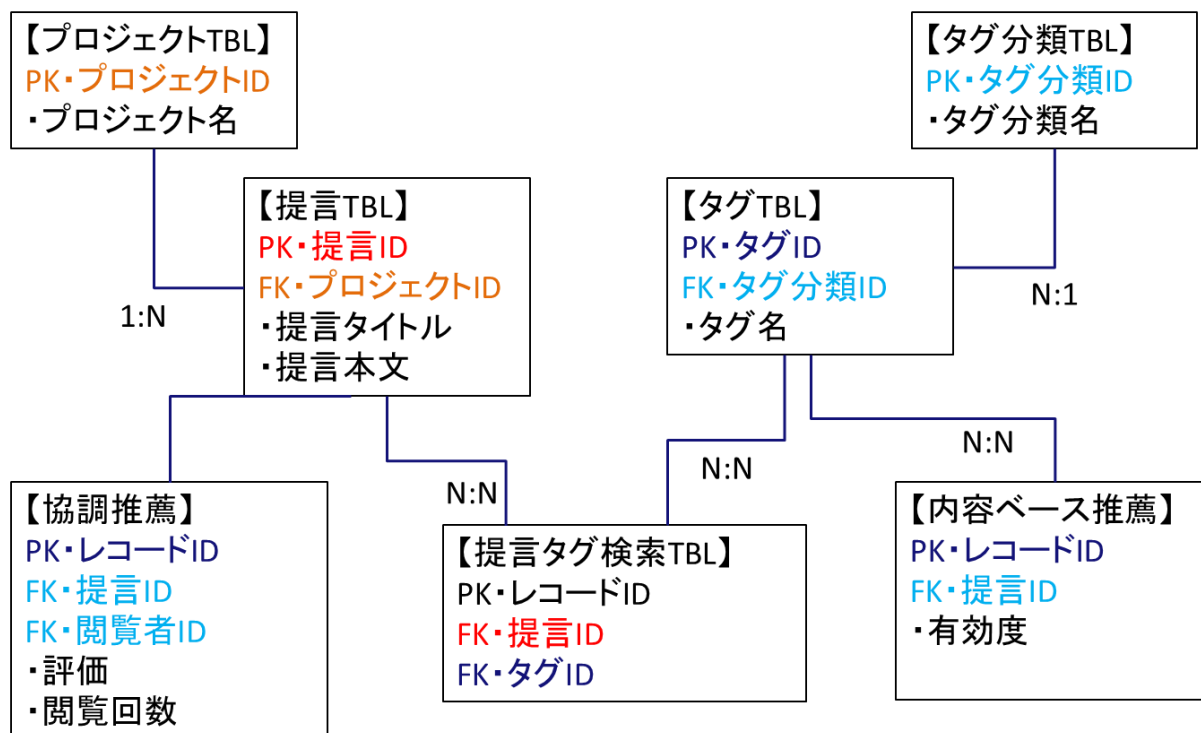


図 6.1-3 提言データベース ER 図

内容ベースアプローチによる推薦を行うための補足データのテーブルが内容ベース推薦テーブルである。提言とタグの方式による場合、タグが 5.1.1 で説明した特徴に等しくなっている。基本的には、同一タグの提言を推薦していくことになるが、推薦順位が決まらない為、有効度という概念を導入し、内容ベース推薦のテーブルに登録する。この有効度は、A：役に立つ、B：多少役に立つ、C：役に立たない、の三つから選択する閲覧者による提言に対する評価である。提言の有効度を推薦アルゴリズムに含めることで、役に立たない無駄な提言を表示しなくなり、提言データベースの可用性があがる。また、この評価は協調推薦のデータベースにも格納される。

現時点では推薦するに足だけのデータセットはためられていないが、協調フィルタリングのデータとしては、上述の評価データと提言の閲覧回数などのセッション情報が記録される。ただし、すべての閲覧者のデータを記録することは妥当ではない。一つの提言しか見ずに閲覧をやめてしまったような閲覧者の情報は推薦の根拠とするには乏しい。本提言データベースでは、例えば 5 個以上の提言を閲覧した閲覧者の活動履歴を保管する。

6.2 提言の分類とその妥当性

前節ではデータベースの構造について規定した．本節ではレコメンドに使用するための提言の分類について，議論する．前章で分析に使用した提言分類を基本とするが，これまでに使用したいくつかの分類との比較を行う．

情報の分類についての従来研究はテキストマイニングなど自動的な分類に軸を移している．[34]過去には，UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) など，WEB サービス用のメタデータ・分類の研究などがされていたが，現在はほぼ利用されていない．しかしながら，こうした自動分類手法を用いるには，大量のデータが必要であり，200 件程度のデータでは困難である．こうした従来研究の教師付き学習の教師として利用される分類としては日本電子化辞書研究所 (EDR) の概念体系辞書が利用される [35]．この概念は，{主体，ものごと，事象，位置，時} の 5 つに大きく分類される．これをもとに，提言の分類を考える．

主体は，提言の場合は，提言を出した人間あるいは閲覧する人間である．これらの分類は，年齢や性別などもあり得るが，プロジェクトの開発についての提言であることから，作業内容や職位といった観点によるものが望ましいと考えられる．

ものごとは，対象物や識別名などでの分類であるが，開発プロジェクトを分類すればよいと考えられる．

事象は，起きた現象や変化による分類である．これは作業内容や，その因果関係などの観点での分類となる．

位置は場所であるが，開発プロジェクトの開発や実験といった作業がどこで行われるかという観点での分類でよい．

時は，絶対的な季節や時期の情報は関連性が薄いため，時系列での分類をすればよい．

このように，分類方針を定めると，①作業内容，②職位，③開発プロジェクト，④因果関係，⑤作業場所，⑥時系列の観点で提言を分類すればよいといえる．このうち，開発プロジェクトはそもそも，提言毎に明確なためことさら分類の必要はない．作業場所や職位は作業内容で決まるため，分類に含めない．すなわち，稗方らの手法でも，同様に分類されていたように，作業内容としてのカテゴリ，時系列としてのフェーズ，因果関係としてのファクタ（原因）で分類をすればよいといえる．

表 6.2-1 に本章で使用する提言の分類法を示す。

表 6.2-1 新たな提言分類法

カテゴリ	国際標準職業分類 (経済指標)	全体管理，技術開発，事務，渉外
フェーズ	厚生労働省ガイドライン (標準フェーズモデル)	計画段階，実験室段階，現場実験段階，ユーザーテスト段階
ファクタ	リスク分類 RBS (プロジェクトマネジメント)	外部要因，技術要因，管理要因，内部要因

6.2.1 フェーズ

フェーズに関しては，表 6.2-2 に示す厚生労働省のモデルや先行研究で提案されてきた段階的なフェーズモデルであるフェーズ 0 からフェーズ 3 を利用し，計画段階(Planning)，実験室段階(Laboratory)，現場実験段階(Field Test)，ユーザーテスト段階(Social Experiment)と分類する。厚生労働省は，これらの後に商品化と販売後のフォローアップを定めているが，ユーザーテストまでの分析には不要なため除外する。

表 6.2-2 厚生労働省の開発モデルと本研究のフェーズ

フェーズ	厚生労働省による福祉用具・介護ロボットの開発モデル	
計画段階	Phase-0	開発コンセプト，基本機能の探索・開発方針の確認などのために必要な場合に行う試験。
実験室段階	Phase-1	開発したプロトタイプ機の基本コンセプト，動作・機構の確認を目的とするパイロット試験。
現場実験段階	Phase-2	改良試作機に関する改良点の確認と残された課題の発見を目的とする試験。

ユーザーテスト段階	Phase-3	試作機が上市可能であるかどうかを確認するための最終確認試験。有用性、適応、適合の実証を目的とする。
フォローアップ段階	Phase-4	上市後の実用の場面におけるフォローアップ試験。 有害事象の追跡、適応・応用範囲の確認・拡大、適合法の確認・検討などを目的とする。

第3章で述べた稗方らの手法では、{準備段階・実施段階・検証段階・実装段階}にわけている。NEDOの研究開発ガイドライン [43]では、{立案段階、計画作成段階、実施段階、評価段階、継続研究段階}としている。この2つは、ステージゲートを念頭に置いたモデルになっており、検証段階や評価段階は、中間評価や事後評価のことを示している。プロジェクトの遂行側がプロジェクトの実用化開発を行う段階は実施段階に集約されている。厚労省のモデルは、実施段階を細かくして、実験室での安全性や基礎性能の確認、現場実験段階での環境要因を含む基礎性能の確認、と開発の中でどのような観点でPDCAサイクルのステージをあげていくべきかについて分類をしている。3.11 節の提言の有用性で述べたように、現場実験段階での提言が重要な傾向にあり実施段階を厚労省のモデルで細かく分類しておくことには一定の意味があると考えられる。従って、本研究では厚労省のモデルでフェーズ分類を行う。

6.2.2 カテゴリ

カテゴリは、どのような業務に付随して発生した提言か、ということに基づいた分類である。人に関する属性情報であり、内容ベースフィルタリング、あるいは協調フィルタリングでは、閲覧者の分類に利用する。例えば管理職の閲覧者は管理に関する提言をより好む傾向が、あるといったような場合に利用する分類である。

カテゴリとしては、ILO による国際標準職業分類 ISCO-08 Structure and preliminary correspondence with ISCO-88 [44]の大分類から農林業など明らかに不要な作業を排除したものを採用する。もともとの、分類では、{管理職、専門職、准専門職、事務補助員、サービス・販売従事者、農林漁業従事者、技能工及び関連職業の従事者、設備・機械の運転・組立工、単純作業の従事者、軍人}となっている。専門職や准専門職、技能工等はひとつにまとめて技術開発とし、サービス・販売従事者は大きく対外関係を司る役職として渉外とした。これらの観点で業務の分類としてのカテゴリは

{全体管理(Management), 技術開発(Development), 事務(Administrative), 渉外(Public Relation), その他(Others)}とする.

第3章で述べた稗方らの手法では, {技術・運営・参加者・検証・制度・その他}に分類されている. 技術開発が技術と検証に, 渉外が参加者と制度に細分化されている. 内平らは{市場, 技術, 事業, 人・組織, 競合}に分類している. 全体管理が, 事業と人・組織に, 渉外が市場, 競合に分類されている.

しかし, これらの細分化は誰がプレイヤーか, という観点で見た場合にはあまり意味がない. 本研究が対象とする小規模開発では, 人数もそれほど多くなく, 当該プロジェクトに限った組織であることが多いために, 分業が確立しておらず, 兼務の場合すら存在するためである.

6.2.3 ファクタ

ファクタは, どのような課題に基づいて発生した提言か, という観点の分類である.

プロジェクトマネジメントにおける標準的なリスク分類 RBS (Risk Breakdown Strucutre) を用いる. ①外部(External), ②技術(Technological), ③管理(Project Management), ④内部(Internal)である. 提言と要因を一意に対応させるため, 以下のように要因を定義する.

①外部要因とは, 失敗等の原因が組織外の場合とし, 場所または時間が違えば回避される場合とする. 例えば, ユーザーテスト時に地震が発生した場合である.

②技術要因とは, 必要技術に抜けがあり, 外部条件を変えても同じ問題が発生する場合とする.

③管理要因とは, 環境や技術の欠陥が既知であったにも関わらず, リーダーの判断ミスにより障害が発生した場合とする.

④内部要因とは, 組織に問題があり, リーダーを変えても同じ問題が起こる場合とする. つぎに, 1つの提言に1つの要因を対応させ, かつ, 要因ごとの提言数をなるべく均等にするため, 以下により要因を割り当てる. まず, 対象の提言に対し, 外部または技術要因のうち, 主たる方を割り当てる. どちらも該当しない場合は管理要因を, それも該当しない場合は内部要因を割り当てる. 外部要因と技術要因は区別可能であり, 同

時に発生しても、主たる一方を選択出来る。管理要因と内部要因は、ほぼすべての障害の背景となっているため、これらは最後に割り当てる。

稗方らの手法では、{国・自治体等の制度上の課題、ステークホルダー間の利害調整上の課題、普及等にあたっての効果/課題、ユーザーテストの技術的な課題、グループ間の連携、地域、気候、生活習慣の制約}としている。この分類は具体的ではあるが、網羅性の検証がされていない。失敗学では、{個人起因、組織起因、いずれでもないもの、だれの責任でもないもの}という分類をしている。いずれでもない、というものは環境変化への対応不良であり、だれの責任でもないものは未知の事象や異常事態としており、外部要因日本語等しい。本研究では、これに加えて、技術の不確実性が高い開発プロジェクト固有の原因として、技術要因を加えている。

6.3 内容ベースアプローチにもとづく提言の推薦

本節では、提言データベースの内容ベースアプローチによる推薦について、詳細に述べる。5.1-2 で述べたように、提言は、フェーズ、カテゴリ、ファクタの分類以外に、提言の有用性に関する評価点を紐づけている。本研究では、3.11 で得た提言すべてを読んだうえでの有用性評価の値を利用する。推薦では、閲覧者がみているフェーズ、カテゴリと同一のフェーズ、カテゴリに属する提言のうち、提言の有用性が 2.5 以上のものを点数の高い順に推薦する。

例えば、現場実験段階の全体管理の提言を読んでいる際には次の提言が推薦される。

スマート安全靴 {安全性、マーケット状況、顧客の状況、時期などを総合的に判断し、試験導入をいつにするかは、経営側が判断すべきであり、そのために開発状況を常に把握しておく必要がある。開発や仕様のレビューには技術的観点だけでなく、経営的判断が入らなければ、無意味な改良に拘泥して時期を逃してしまう}

マッスルスーツ {顧客からの要求事項をより安価な技術や安定した技術で賄える場合には、そちらを優先すべき。小林先生は電気制御を進めていたが、経営判断でエアで保持するだけの簡易版に切り替えて市場投入時期を早めた}

これら二つの提言データベースはいずれも現場実験段階で、技術の安定性について苦慮している場合、顧客からの要求事項をより安定した技術で賄えるのであれば、それによって市場投入を早めるべきという提言である。現場実験段階では、このような見極めが重要であると提言データベースからわかる。

ユーザーテスト段階の渉外では、次のような提言が推薦される。

歩行支援機 {顧客候補によっては、秘密保持契約を結ぶべき}

運搬ロボット {共同開発を求めると乗ってくる企業が少ない。ロボットの共同開発という言葉から得られるイメージがハードルが高いため、一般的なユーザーとなるサービス企業は躊躇してしまう、導入先候補が確定できない、予算中で行うため、試験導入を無料で実施してみてフィードバックがほしい、というアピール方法へ変更した}

これら 2 つの提言は、顧客は新しい製品を簡単には受け入れてくれない。技術以外の様々な要求が顧客から出される。顧客が満足する実験方法を顧客と相談して決める作業が存在することを述べている。

本章では，本研究で構築したレコメンダーシステムを取り入れた提言データベースについて，説明した．ユーザテストによる有用性の検証はできていないので，アイデアの提案の段階である．

第7章 結論

本研究の目的は序論で示したように、魔の川から死の谷に関わる分野について、中小企業における消費財研究開発の方法論の確立と実践である。

第1章では、研究背景として、中小企業の研究開発の実情を述べている。申請者が従事する靴産業について、過去の製品開発プロジェクトの概要を説明し、そこで生じた課題を、魔の川、死の谷、ダーウィンの海の3つの障壁に当てはめて整理している。その結果、失敗の要因を、開発対象の変化、プロセスの全体像の把握の困難性、共同開発における責任と意思疎通の欠如、公的補助金の審査基準の欠陥にあるとしている。そして本論文の対象を、魔の川から死の谷の間のプロジェクトマネジメントに設定している。

第2章では、産学連携と公的補助金により、LED 内蔵の安全靴を開発し、本論文が扱う研究開発のモデルとしている。自ら考案した圧電パラレルリンクを踵に内蔵し、歩行時の発電により LED を 1cd で発光させ、自己位置を発信する安全靴であり、現場実験により、屋外作業の安全確保に有用なことを確認している。従来研究に比べ、微小変位で大電力を得られる点と、6 自由度の外力を利用できる点で優れる。実用的にも、従来にない靴底の剛性、外装の安全性、製造の容易性を有する。開発過程で生じた課題と解決法を列挙し、それらが、中小企業における多くの小規模消費財開発で成り立つことを示している。

第3章では、第2章のプロジェクトの管理運営の良否が、列挙された課題と解決法の分類により評価できることを示し、その評価法を提言分析法と名付けている。また、本手法が中小企業の研究開発プロジェクト一般において、ユーザーテストに至るか否かの判定に利用できることを示している。本手法では、開発担当者が体験、発案した課題と解決法を短文で表し（提言と呼ぶ）、フェーズ・カテゴリ・ファクタで分類し、分類ごとの提言数を求める。提言数により、1)技術開発に集中できる柔軟なプロジェクトマネジメント、2)ニーズの不確実性の早期の解決、3)技術開発の不確実性の段階的な解決の程度が判定でき、これによりプロジェクトの成否が判断できる。またステージゲート法における中止/継続の判断の目安が得られる。また本手法により、従来のガントチャート、経費、工数による進捗評価よりも詳細な分析が可能なことを示している。

第4章では、申請者が 10 件のプロジェクトに参画し、それらの成否の原因を分析している。これら事業には、上市に至ったものから、ユーザーテスト前に敗退したものまでが含まれる。開発現場での本人の体験、議事録、開発担当者の意見などにより、成否

の原因を分析している．また 253 件の提言を収集し，他事業の開発担当者，マーケティング担当者，事業責任者に読んでもらい，提言の有用性を評価している．

第 5 章では，上記の 10 プロジェクトに提言分析法を適用し，本手法により事業がユーザーテストに至るか否か，および，その成否の原因が推定できることを示している．また第 3 章で述べた 3 つの傾向が，ユーザーテストに至るプロジェクトの特徴であることを確認している．

第 6 章では記録された提言を第三者が活用する，提言データベースを提案している．無数に蓄積された提言から閲覧者に有益な提言を抽出するため，情報推薦の手法である内容ベースアプローチを用い，提言をフェーズ・カテゴリ・ファクタの 3 つの特徴量と紐づけしている．これにより，閲覧者の課題と類似の課題の提言が提示される．

以上を総合して本論文の結論は以下である．

中小企業の消費財研究開発プロジェクトにおいて，ユーザーテストに到達する条件は，1)技術開発に集中できる管理運営体制，2)ニーズの不確実性の早期排除，3)技術の不確実性の段階的な低減である．これらの実現の程度は，提言分析法により判定できる．本手法は，開発過程で経験，発想した課題や解決手段をフェーズ・カテゴリ・ファクタで分類し，提言数の比を求める方法である．蓄積された提言は，分類と紐づけることで検索可能である．中小企業の消費財研究開発プロジェクトにおいて、ユーザーテストまで到達しての良否判断するに至るためのプロジェクト運営におけるチェック項目 3 点（ニーズ不確実性への対処・技術不確実性への対処・PM の柔軟性）を実践と事例研究から抽出し、ステージゲート法における運用方法として提言分析法・そのデータベースを提案した．

参考文献

- [1] 矢野経済研究所, 靴・履物産業年鑑 2017, 矢野経済研究所, 2017.
- [2] 五十嵐広希, サービスロボットの社会実装の現状と課題, 日本信頼性学会誌 信頼性 37(2)86-90, 2015.
- [3] 中小企業庁, 中小企業白書, 中小企業庁, 2018.
- [4] 山海嘉之, ロボットスーツ HAL 福祉用の開発と実用化(特集生活支援ロボット実用化プロジェクト成果報告), 福祉介護テクノプラス 6(7)16-18, 2013.
- [5] 加藤俊光, 中小企業の製品開発論, 静岡学術出版理工学新書.
- [6] 下田篤, 久保裕史, 五百井俊宏, スキームモデルに基づく研究開発プロセスの分析手法, Journal of the International Association of P2M, Vol.9 No.1, pp.67-81, 2014.
- [7] 落合以臣, 常田稔, 新製品開発の過程を可視化・定量化するための新たな方法, 日本経営システム学会誌 31(1), 1-8, 2014-07.
- [8] 加藤俊文, 中小企業の製品開発論, 静岡学術出版, 2008.
- [9] 内平直志, 研究開発プロジェクトマネジメントの知識継承, 北陸先端科学技術大学院大学博士論文, 2010.
- [10] 学術会議, ロボット活用による社会課題解決とそれを支える先端研究の一体的推進方策, 第 22 期提言 pp.6-8, 2014.
- [11] 保坂寛, 携帯情報機器のための人力発電技術, マイクロメカトロニクス 47 巻, 3 号, p.38-46, 2003.
- [12] A. K. TOKIN, 積層圧電アクチュエータカタログ, 2017 Vol.1.
- [13] 南相馬市,
<https://www.city.minamisoma.lg.jp/index.cfm/20,34174,87,539,html>, 最終アクセス 2018/10/11.
- [14] 佐藤知正, 浅野滋, 他, 南相馬における避難アシストロボット及び, 避難生活アシストロボットの研究開発, 日本ロボット学会講演会講演論文集 2M1-01, 2015.
- [15] A. Brown, Organization of Industry, PrenticeHall P215-220, 1947.
- [16] PMBOK, PMBOK3rdedition, PMBOK, 2004.
- [17] 浅野滋, 他, SysML によるロードマップに基づいた PDS サイクル分析による新技術の社会実装プロジェクトマネジメント, 日本ロボット学会講演会講演論

文集 2M2-07, 2015.

- [18] 浅野滋, 他, 社会実験を通じた歩行支援ロボットの社会受容性評価と課題抽出, 日本ロボット学会講演会講演論文集 2Y1-02, 2017.
- [19] 和田将典, 浅野滋, 他, 自力移動支援機の上半身前傾姿勢における自転車サドル形状座面の最適高さ決定法, ロボット学会投稿中.
- [20] 笹尾隆二郎, “P2M 手法に基づいた効果的な ODA プロジェクトの実施方法の考察,” 国際 P2M 学会 第 23 回春季研究発表大会論文集, 2017.
- [21] 稗方和夫, 他, 社会実験事例データベース構築による知識蓄積, 人工知能学会第 2 種研究会, 2014.
- [22] ISO, <https://www.iso.org/standard/45481.html>, ISO9000.
- [23] 厚生労働省, 福祉用具・介護ロボット開発の手引き pp.13-15, 厚生労働省, 2014.
- [24] 長谷部浩二, 段階的な臨床試験プロセスによる人支援型ロボット開発の提案, 日本ロボット学会誌 Vol29, No.3, pp236-240, 2011.
- [25] 科学技術振興機構, 気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの改革, 明るい低炭素社会の実現に向けた都市変革プログラム最終報告書, 科学技術振興機構, 2015.
- [26] 山口泰久, START プロジェクトにおけるステージゲート方式によるプロジェクトの選択・管理について, , 研究・技術計画学会, 年次学術大会講演要旨集 Vol28pp.58-61, 2013.
- [27] 吉村香織, 他, ナショナルプロジェクトにおけるステージゲート法適用に関する考察, 研究・技術計画学会年次学術大会講演 Vol24pp.630-633, 2009.
- [28] 梶川久光, 建築物の被災度判定計による防災ネットワークの研究開発:その 3 岩手県大船渡市の高台に建つ建物の計測結果, 本建築学会学術講演梗概集 2014(構造 III)577-578, 2014.
- [29] 和田正義, アクティブキャスタとこれを応用した避難アシストロボット(移動アシスト歩行器)の開発, 同上 2M1-04, 2015.
- [30] 都産技研, <https://www.iri-tokyo.jp/uploaded/attachment/2913.pdf>, 最終アクセス 2018/10/11.
- [31] 山口亨, 他, 被災時と日常の防災を目的としたソーシャルロボットシステム, 同上” 2M1-05, 2015.
- [32] 武田隆宏, 他, すれちがい通信による避難所生活における秘匿情報伝達システムの提案, 同上” 2M1-06, 2015.

- [33] 北村光司, 生活機能を考慮した個人適合型サービス検索ソフトウェアの開発, 日本ロボット学会講演会講演論文集 2M2-04, 2015.
- [34] 森下広, 他, 仮想同居システム～その概念と実装～, 同上 2M2-05, 2015.
- [35] 神寫敏弘, 推薦システムのアルゴリズム, 人工知能学会誌, vol.22, no.6 ～ vol.23, no.2, 2008.
- [36] G. Linden, Amazon.com recommendations, IEEE Internet Computing Industry Report 1089-7801/03/, 2003.
- [37] P. P.-s. Chen, The Entity-Relationship Model: Toward a Unified View of Data, ACM Transactions on Database Systems, Vol.1, pp9-36, 1976.
- [38] 工藤拓, 半構造化テキストの分類のためのブースティングアルゴリズム, 情報処理学会誌 Vol45 No.9, 2004.
- [39] 湯浅夏樹, 他, 大量文書データ中の単語間共起を利用した文書分類, 情報処理学会誌 Vol36 No.8, 1995.
- [40] NEDO, NEDO 研究開発マネジメントガイドライン, NEDO, 2018.
- [41] ILO, <http://www.ilo.org/public/english/bureau/stat/isco/isco08/>, ILO 最終アクセス 2018/10/11.

謝辞

本論文は東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻環境情報マイクロシステム分野において、筆者が行った標題研究の成果をまとめたものであります。

本稿を終えるにあたり、終始貴重な御指導、御教示を戴いた東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻、保坂 寛教授、佐々木 健 教授、森田 剛教授に深く感謝の意を表します。

また、本論文をまとめるにあたり、多くの有益な御助言を戴いた東京大学新領域創成科学研究科人間環境学専攻 鎌田 実 教授、稗方 和夫 准教授、同大学人文社会系研究科 唐沢 かおり 教授に厚く御礼申し上げます。

東京大学 佐藤 知正 名誉教授には、研究室での日頃の研究に対し、種々ご助言頂きました。厚く御礼申し上げます。

本研究の対象としたプロジェクトの関連の皆様、菊池製作所 菊池 功 社長、VECTOR 株式会社 小山 久枝 社長、以下同僚社員の皆様に御礼申し上げます。運搬ロボットの開発に携わられた、SOCIAL ROBOTICS 株式会社の皆様に改めてお礼申し上げます。スマート安全靴の開発に携わられた、東京大学フューチャーセンター推進機構 池田 泰久 特任研究員、西村 眞次 特任研究員、Panasonic 株式会社の皆様に御礼申し上げます。

また、社会人として業務の傍ら博士課程への在籍と研究について快くご支援をいただいた、サーパス浅野株式会社、SOCIAL ROBOTICS 株式会社の皆様に温かいご支援とご協力を頂戴したことを深く感謝申し上げます。

研究活動および学生生活において、お互いに支え合い、助け合った本研究室の皆様に深く感謝致します。

最後に、家族に日常生活を支えて頂いたことに深く御礼申し上げます。