

Title	モバイル機器におけるワイヤレス給電システムのデザイン
Sub Title	Design of wireless power system in mobile devices
Author	小野川, 薫(Onogawa, Kaoru) 佐々木, 正一(Sasaki, Shoichi)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2012
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2012年度システムエンジニアリング学 第100号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002012-0021

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2012年度

モバイル機器における
ワイヤレス給電システムのデザイン

小野川 薫

(学籍番号：81133160)

指導教員 教授 佐々木 正一

2013年3月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

論文要旨

学籍番号	81133160	氏名	小野川 薫
論文題目： モバイル機器におけるワイヤレス給電システムのデザイン			
(内容の要旨) 近年、モバイル機器は私達の生活に欠かせないものとなっている。高機能化や利用時間拡大に伴い消費電力は増加傾向であり、バッテリーについても大容量化が進むが、それでも充電した電力が1日持たないなどユーザーの不満は少なくない。いつでもどこでも好きな時に充電できる訳ではないため、事前の充電作業からは決して逃れられず、また、複数の機器を利用することも多く充電器も様々で非常に煩わしい。電力利用における利便性の改善が強く求められている。 本研究では、ワイヤレス電力伝送技術を応用し、バッテリーの充電作業を軽減すること、給電機会の増加を図りバッテリー切れの状態を減少させることを目的とし、ユーザー視点に立ってシステムデザインを行った。モバイル環境における電力利用の現状把握と問題の理解から、ワイヤレス化、充電の自動化、電力相互利用の3つをシステム要求として導き、ワイヤレス給電システムとして定義した。そのシステムを具体化するため、ワイヤレス自動充電、機器間の給電、ユーザー間での給電の3つのユースケースを検討し、システムの基本構成及び必要なファンクションをまとめ、磁界共鳴方式での電力伝送モジュール、ZigBee方式でのワイヤレス通信モジュールを物理構造としてシステムを構成した。 デザイン全体を俯瞰しシステムの構成要素についてバリュー分析を行った結果、システムとしてユーザーの利便性を高めることが最も重要なポイントであった。 デザインに基づきシステムの核となる基本ユニットのプロトタイプを作成した。これは通信モジュール、給電モジュール、制御・管理モジュールにより構成されるが、磁界共鳴方式によるワイヤレス給電モジュールの代替として疑似的な給電モジュールをスタブとして実装し、ユースケースに基づき動作検証を行った。 具体的な5つのシステム応用例を挙げワイヤレス給電システムを提案し、ユーザーからのフィードバックの獲得によりシステムの妥当性評価を行った。システム利用料のイメージとして月額数千円の評価となるなど、ユーザーからポジティブな反応が得られた。本研究をベースにさらにユーザーからのフィードバック等を反映させ、デザインのブラッシュアップとプロトタイピングを繰り返し洗練されたシステムを構築することによって、より良い社会への貢献が期待される。			
キーワード (5語) ワイヤレス給電、磁界共鳴方式、モバイル機器、電力相互利用、自動充電			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81133160	Name	Kaoru Onogawa
Title: Design of Wireless Power System in Mobile Devices			
Abstract: <p>In recent years, mobile devices are becoming quite essential to our daily lives. The electric power consumption by those devices tends to increase along with expansion of device features and time of use. Although battery capacity is getting bigger and bigger, lots of users still complain that their fully-charged batteries do not last for a full day. Since it is impossible to charge a device anytime and anywhere as you like, the device requires a user to charge it beforehand. Also, users often need to handle several devices at one time but they may be annoyed in dealing with a variety of battery chargers. Therefore, there is a strong demand that the ease of use of those devices should be greatly improved.</p> <p>In this study, with the aim of alleviating battery charging work and reducing battery run-down by increasing charging opportunities, I applied the wireless power transfer technology and implemented a system design from users' viewpoint. I drew three system requirements, which are wireless charging, automatic charging, and mutual power use, and defined these as the wireless power supply system. In order to materialize these requirements, I studied three use cases, which are wireless automatic charging, power supply among devices, and power supply among users, and specified the basic system architecture and required functions.</p> <p>On the basis of the design, I created a prototype of the basic unit which is the core of the system. This basic unit is supposed to consist of a communication module, an electric power supply module and a control-management module. Then, the prototype was verified based on use cases. And furthermore, I cited five concrete cases of the system application, proposed the wireless power supply system and conducted a validity evaluation of the system by receiving users' feedback.</p> <p>The contribution to better society is expected by building a refined system. In order to do so, it is necessary to brush up the system design by reflecting users' feedback and create a prototype repeatedly.</p>			
Key Word(5 words) Wireless Power Transfer, Mobile Device, Magnetic Field Resonance, Mutual Power Use, Automatic Charging			

目次

第1章 序論	6
1.1 はじめに	7
1.2 研究の背景	7
1.2.1 モバイル環境における問題	7
1.2.2 新たな技術と政策	9
1.3 ワイヤレス電力伝送	11
1.3.1 電磁誘導方式	11
1.3.2 磁界共鳴方式	12
1.3.3 その他の伝送方式	14
第2章 研究の内容と手法	15
2.1 研究の目的	16
2.2 ワイヤレス技術の現況	16
2.3 研究の内容	16
2.4 研究の手法	17
第3章 システムのデザイン	19
3.1 要求分析とソリューションシナリオ	20
3.1.1 モバイル環境における電力利用の現状	20
3.1.2 生じている問題の理解	21
3.1.3 ソリューションプランの作成	22
3.1.4 ソリューションシナリオ	23
3.2 ユースケースと要件定義	24
3.2.1 ユースケースの検討	24
3.2.2 システムの基本構成	26
3.2.3 ファンクションの定義	28
3.2.4 ワイヤレス電力伝送方式の選定	29
3.2.5 ワイヤレス通信方式の選定	30
3.2.6 ハードウェアストラクチャ	31

3.3 ユーザー要求とシステムバリュー	32
3.3.1 システムの目的と構造	32
3.3.2 ユーザーニーズの理解	33
3.3.3 システムバリューの評価	33
3.4 デザインの結果と考察	35
第4章 提案するシステム	36
4.1 システムの概要	37
4.2 システムの機能と効果	37
4.3 システム応用例1 (ラクラク充電)	38
4.4 システム応用例2 (ワイヤレスバッテリー)	39
4.5 システム応用例3 (バッテリーグリッド)	40
4.6 システム応用例4 (優しい電気)	41
4.7 システム応用例5 (ソーシャルバッテリー)	42
第5章 システムの検証と評価	43
5.1 プロトタイピング	44
5.1.1 プロトタイプの詳細	44
5.1.2 システムの内部構成	45
5.2 システムの検証	48
5.3 システムの評価	49
5.3.1 妥当性の評価	49
5.3.2 利用コストの評価	52
第6章 結論	53
6.1 まとめ	54
6.2 今後の課題	55
6.3 おわりに	55
謝辞	56
参考文献	57

第 1 章 序論

1.1 はじめに

近年、スマートフォンやノートパソコンなどの携帯情報端末をはじめとして、デジタルカメラや音楽プレーヤなど様々なモバイル機器が登場し、これらは私たちの生活に欠かせないものとなっている。多くの人々が各家庭内やオフィス内のみならず公共エリアや屋外であっても様々な製品を常に持ち歩き、至る所で使用している。これらの電子機器を使用するには当然ながら電力が必要であり、モバイルユーザーは時と場所を選ばず絶え間なく電力を消費していると言える。しかしながら、インフラが整備されあらゆる施設に電力が供給されている中で、その電力を利用できるのは契約者に限られ誰でも自由に利用できるわけではない。したがって、いつでもどこでも自由にモバイル機器を使用するためには、然るべき容量のバッテリーにその都度充電を行い電力を予め確保し、機器と同様にそれを持ち運ぶ必要がある。モバイル機器において、充電の手段や頻度そしてバッテリーの持ち時間は利便性を大きく左右する最も重要な性能の1つだと言える。

こうした中、多くのモバイル機器を利用するユーザーの一人として日々の充電の煩わしさやバッテリーに対する不満が益々増加してきていると感じ、これらの問題に対するソリューションを検討することが必要と考えた。本研究はモバイルユーザーにとってより良い社会を実現するために、モバイル環境における電力利用の利便性向上を目指し、システムデザインを試みたものである。

1.2 研究の背景

1.2.1 モバイル環境における問題

様々なモバイル機器が登場する中、ディスプレイの大型化やプロセッサの高速化など製品機能の進化に伴いモバイル機器が消費する電力は益々増加している。ソーシャルネットワーキングの普及や様々なクラウドサービスなどインターネットの更なる利用拡大に合わせてユーザーの利用時間も増加傾向である。バッテリーについても同様に大容量化が進んでいるが、それ

でも充電した電力が1日持たないなどユーザーの不満は少なくない。その上、いつでもどこでも好きな時に充電できる訳ではないため、事前の充電作業からは決して逃れられないのである。さらに所有する複数の機器それぞれに対して毎日のように充電作業が必要になることも多く、充電器は製品ごとにそれぞれ異なることもあり非常に煩わしい。そのため、モバイル環境での電力利用に関して利便性の改善が強く求められる。

調査によれば、「バッテリーに満足していますか？」との問いに対して、スマートフォンユーザーの実に75.1%がバッテリーに不満があると回答している。

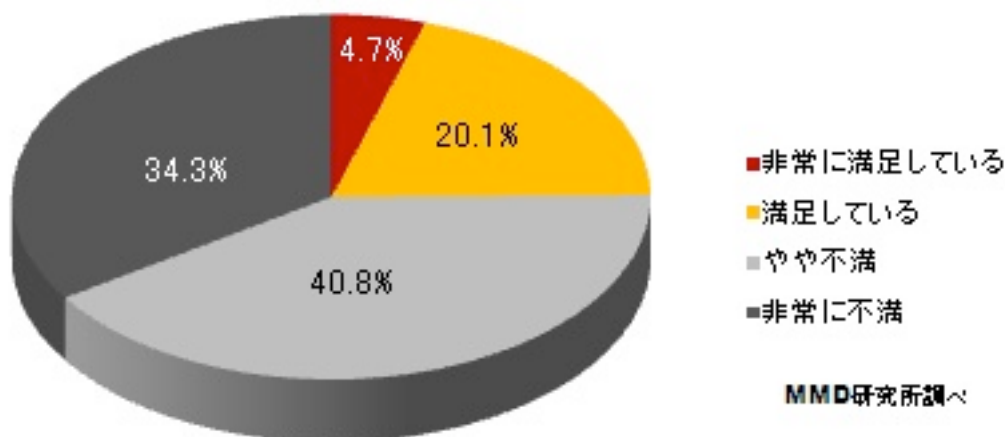


図1：バッテリーに関する満足度

出典：MMD研究所 2011年「バッテリーに関する満足度調査」

また、「公衆電源サービスが無料で利用出来る場所が近くにあったら」の問いに「とても利用したい」は20.7%、「機会があったら利用したい」は60.2%、合計80.9%が「利用したい」と回答している。外出中に電源が欲しいと思ったことが「ある」人に至っては実に92.1%にのぼる。

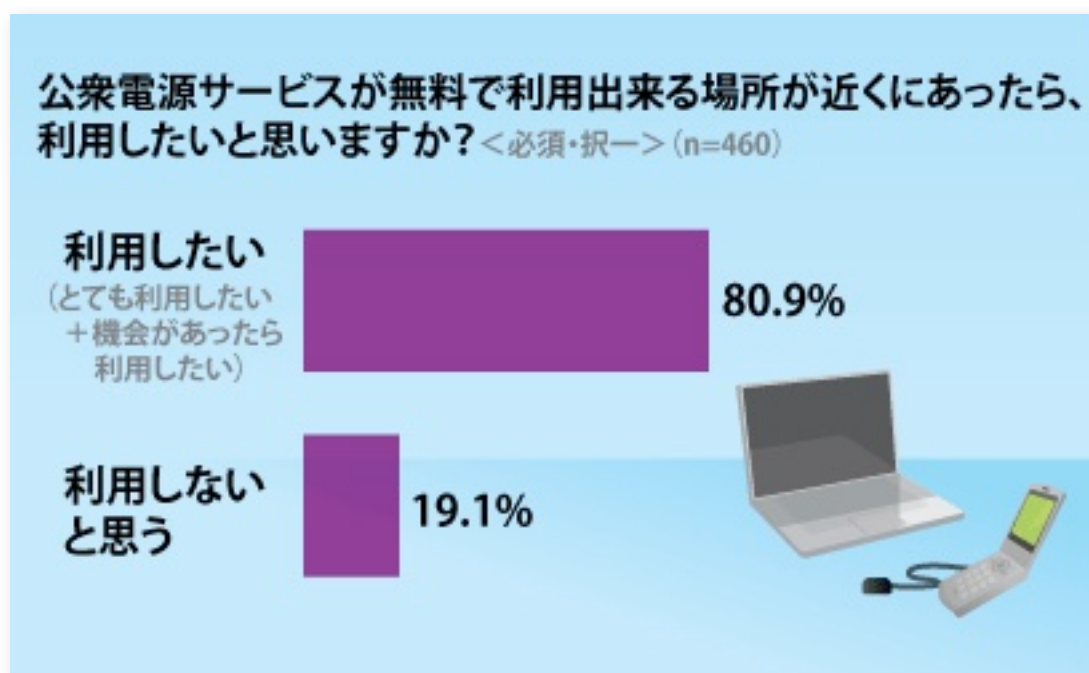


図2：公衆電源サービスに関する意識

出典：アイシェア 2010年「公衆電源サービスに関する意識調査」

このように、モバイル環境における電力の利用に関しては明らかに問題が存在しており無視できない状況にあると言える。バッテリーの充電がいつまで持つのかと常に気にしながらモバイル機器を使用している現状は、多くのユーザーにとってストレスの大きな一因となっている。

1.2.2 新たな技術と政策

その一方で、近年、ワイヤレス電力伝送に関する研究が盛んに行われ、電源供給や充電のための電力伝送の無線化への期待が高まってきている。ワイヤレス送電技術の研究は古くから行われ、ニコラ・テスラがワイヤレス送電用の鉄塔を建設し広範囲に無線で電力を送る実験を試みた1900年代にまでさかのぼる。1960年代には、マイクロ波帯の電磁波を使って大電力を長距離伝送する研究が始まるなど長い歴史がある。現在、近距離での無接点電力伝送はすでに実用化され製品にも搭載されているが、今後も新たなワイヤレス給電技術の確立と発展が期待できるため市場の将来性についても非常に注目されている。

国内においては総務省電波政策懇談会が2009年、新たな電波産業育成に向けて「電波新産業創出戦略」を取りまとめ、電波利用の活性化を目指し、ワイヤレスブロードバンドプロジェクト、インテリジェント端末プロジェクト、医療・少子高齢化対応プロジェクト、安心・安全ワイヤレスプロジェクト、家庭内ワイヤレスプロジェクト、5つの電波新産業創出プロジェクトが創設された。

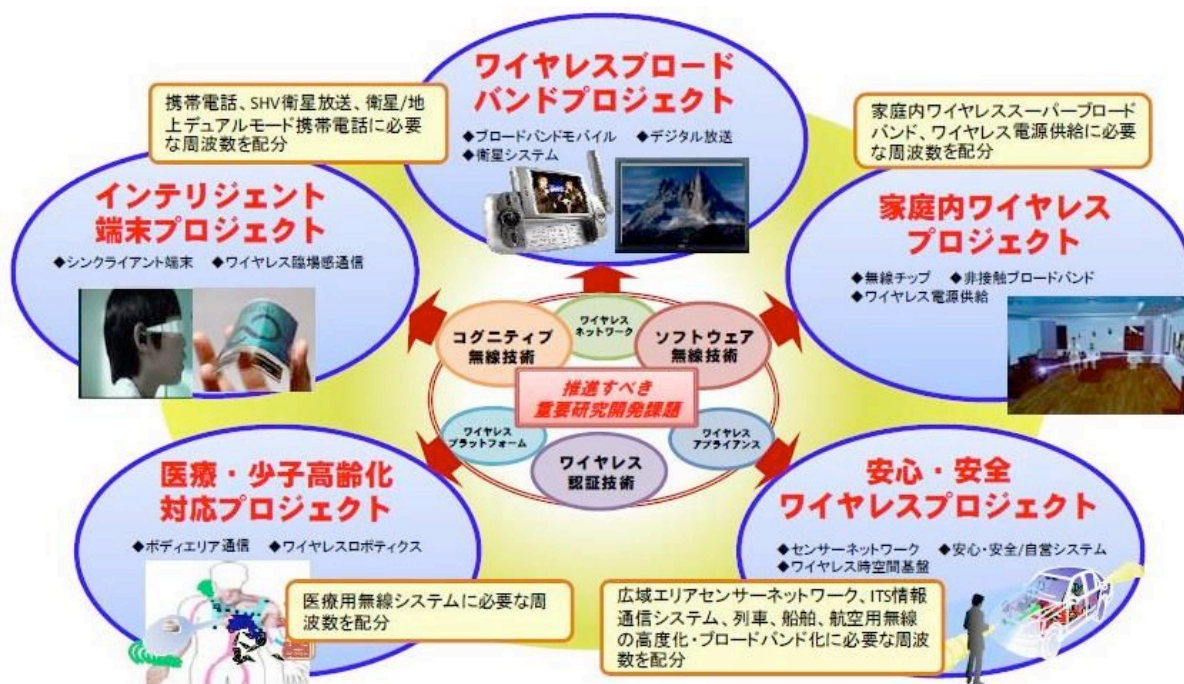


図3：電波新産業創出プロジェクト

出典：総務省 2009年「電波新産業創出戦略 ～電波政策懇談会報告書～」

この中では、家庭内のあらゆる情報機器間の配線をなくしコードレス化を可能とする家庭内ワイヤレスシステムの実現に向け、ワイヤレス電源供給に関する研究開発の推進や法整備等が検討されており、これらのプロジェクトにおいて2015年までに実現、2020年までに高度発展化することを目指し様々な取り組みとその成果が求められている。

1.3 ワイヤレス電力伝送

1.3.1 電磁誘導方式

電磁誘導方式による無接点電力伝送は、送電側のコイルの磁束を変化させ「ファラデーの電磁誘導の法則」として知られる原理によって受電側のコイルに起電力を生じさせることでコイル間で電力伝送するものである。この方式はすでに実用化されており電動歯ブラシや電気シェーバーの充電等へ応用され製品として目にすることも多い。洗面所など水分が多い場所、ゴミや塵が多い環境での利用や頻繁に脱着を繰り返すなど金属接点の使用を避けたい電子機器や産業機器でこれまで採用されてきた。2008年に電磁誘導を用いた無接点電力伝送の業界団体としてWireless Power Consortium(WPC)が発足し、2010年にはWPCによって無接点給電の国際標準規格であるQi規格が策定されるなど、実用化に向けて最も進んでいる技術と言える。現在ではRFIDや非接触ICカードなど近距離無線通信への応用や、携帯端末を充電器に置くだけで充電可能なQi規格に準拠した製品も登場し、今後もさらなる発展が期待されている。

しかしながらこの方式は伝送効率は90%を超える反面、電磁誘導を利用した電力伝送であるため2つのコイルをほぼ接触した状態でしか使えないという欠点がある。さらにコイルの軸同士を数mmの精度で一致させることが必要であり運用上の制約が大きい。つまり電磁誘導方式は近接距離など限られた条件において高効率な電力伝送が可能な方式である。

表 1：電磁誘導方式の主な仕様

送電原理	電磁誘導
伝送距離	数mm以下
送信電力	数W～数kW
周波数	数百kHz以下
伝送効率	90%程度
サイズ	数cm

1.3.2 磁界共鳴方式

磁界共鳴方式は2006年に米国マサチューセッツ工科大学(MIT)マリン・ソウリャーチ教授をはじめとする研究チームによりその理論が発表され、電磁誘導方式より長距離で高効率な電力伝送が可能な方式である。基本的な原理は電磁誘導方式と同じであるが、この方式は結合されたコイル同士における共振を利用しているためその共振周波数においてある程度伝送距離を離しても高い伝送効率でワイヤレス電力伝送を行うことができる。

この方式の利点として、伝送距離を伸張させることができる他に、送受共振器の位置ずれに対して効率の劣化が少ない点があげられる。コイルの軸同士を直行させた状態であっても伝送可能であり、この点は電磁誘導方式とは大きく異なる。



図4：磁界共鳴方式による実証実験

出典：米MIT 2007年「Power Transfer Through Strongly Coupled Resonances」

MITによる実証実験では、送電側および受電側のコイル同士を共振周波数によって共鳴させ結合し、送電側では信号発生器から発生した交流電源を

高周波のパワーアンプによって増幅し励振させ、受電側では受け取った交流電力を整流器によって直流に変換し負荷へ給電するという構成で、1m前後の伝送距離で90%近い伝送効率を実現している。

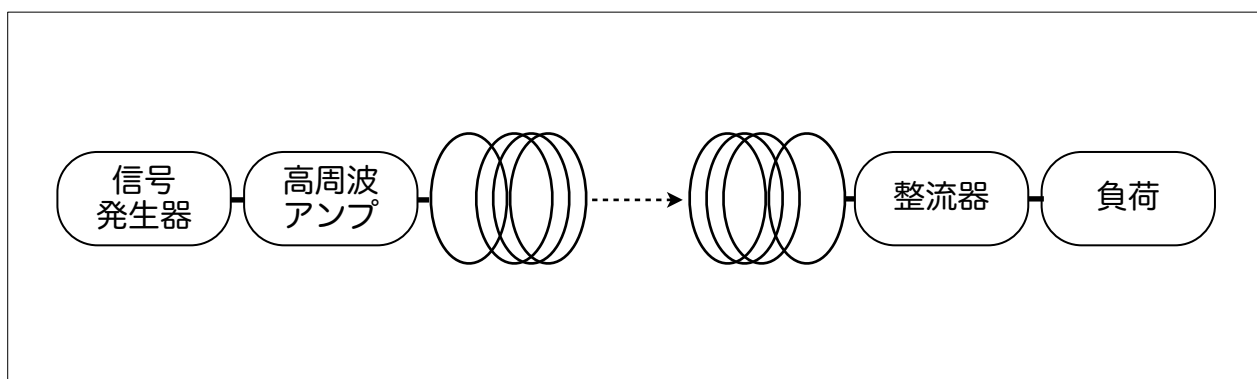


図 5：磁界共鳴方式の概要図

2006年のMITによる発表後、その後の数年においては2つのコイル間の電力伝送についての理論の実証実験など基礎的な研究がほとんどである。近年では複数のコイルを用いた電力伝送や効率を高める新たな設計法、周囲の磁界分布の測定など実用化に向けた研究が数多く発表されているが未だ要素技術の研究段階であり製品化には至っていない。現在、米国WiTricity社や長野日本無線株式会社など多くの企業や大学が実用化に向けて研究を行っており、特に電気自動車への給電を中心に研究が進められているが、その他のアプリケーションやサービスレベルへの応用に関しては研究が少なく今後の課題だと言える。

表 2：磁界共鳴方式の主な仕様

送電原理	磁界共鳴
伝送距離	数m以下
送信電力	数W～数kW
周波数	数百MHz以下
伝送効率	40%～90%程度
サイズ	数～数十cm

1.3.3 その他の伝送方式

前述の電磁誘導方式および磁界共鳴方式の他にも、電磁波によって電力伝送を行うマイクロ波方式、並行平板の間に電磁波を閉じ込めつつ伝送し壁からにじみ出る非放射波を利用するエバネッセント方式などいくつかの技術が研究されている。これらの技術においても長距離での電力伝送や送電容量などに応じて様々な利用シーンが考えられるが、現実的な伝送効率やコスト及び安全面などのハードルは已然高く実用化には至っていない。

第2章 研究の内容と手法

2.1 研究の目的

本研究は、モバイル環境での電力利用において、より効率的な電力利用と電力のアクセシビリティ向上に貢献するシステムの創造を目指し、ユーザーの利便性を高める先進的な電力供給システムをデザインすることを目的としている。電力利用に関する新たな価値の発見や創造に繋がるような、ユーザーにとって有益となるシステムをデザインし提案したい。

2.2 ワイヤレス技術の現況

現在、電磁誘導方式での無接点電力伝送はすでに実用化され多くの製品が登場しているが、その他の電力伝送方式、特に磁界共鳴方式でのワイヤレス電力伝送については将来の可能性が大いに期待されているものの、現在はまだ要素技術の研究がなされている段階である。モバイル機器への応用についてはQi規格が策定された電磁誘導方式での無接点充電に関する文献が中心であり、磁界共鳴方式のワイヤレス電力伝送は見られないのが現状である。

また、ワイヤレス情報通信に関しては近年、機器同士が互いに情報を交換し様々な制御を自動的に行うM2M(Machine-to-Machine)ネットワークなどの仕組みについて電子情報通信学会などでも盛んに研究報告が行われている。主にセンサ情報ネットワークへの応用を想定しているものが多いが、情報ネットワーク以外への応用、特に電力伝送ネットワークに関係した研究は確認できなかった。

このように、ワイヤレス電力伝送については具体的なアプリケーションやサービスレベルへの応用に関する研究が不足しているため、ユーザーオリエンテッドなアプローチによって新たなワイヤレス電力伝送システムをデザインすることは有意義であると考えられる。

2.3 研究の内容

本研究では、ワイヤレス電力伝送技術を応用し、モバイル機器の利用者にとってより便利で効率的な電力利用を可能にするために新たな給電システム

を検討する。特にモバイル機器の利用に欠かせないバッテリー充電作業の負荷を軽減すること、さらに給電機会の増加を図ることでバッテリー切れの状態を減少させることを目指し、ユーザー視点に立ちシステムデザインを行う。具体的なシステムの提案とプロトタイピング、ユーザーのフィードバック獲得などによりその妥当性を評価する。

2.4 研究の手法

モバイル環境におけるワイヤレス給電システムの構築に向けて、Systems Engineering手法をベースに有効な給電方法についてシステムをデザインし、そのシステムの検証及び妥当性の評価を行う。システムエンジニアリングの基礎に則り、Vモデルに沿って各プロセスを進める。

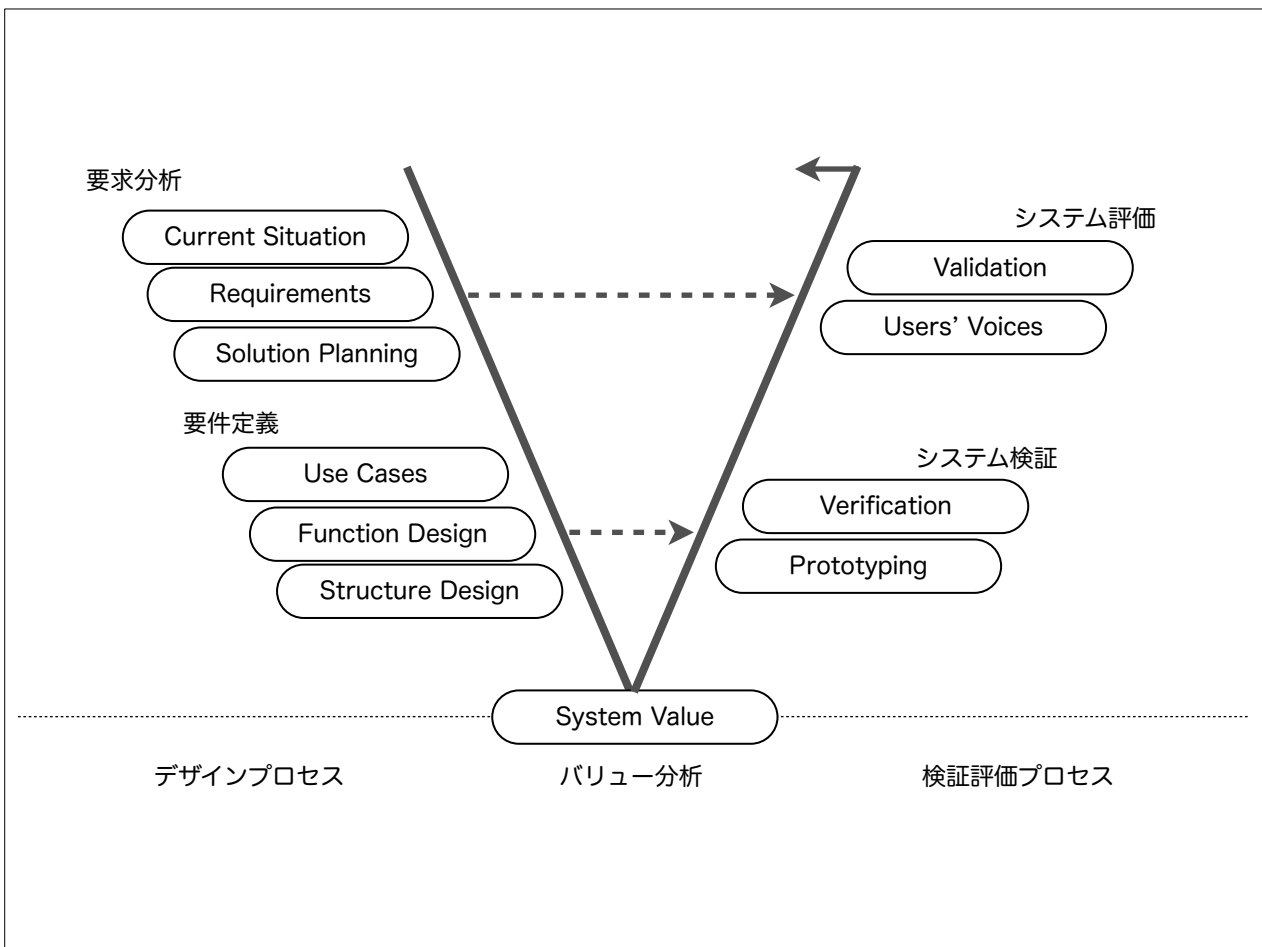


図6：デザインロードマップ

ロードマップは大きく分けてデザインプロセス(第3章)と検証評価プロセス(第5章)の2つに分かれる。デザインプロセスでは、要求分析フェーズとして、現状把握や問題の理解を基にソリューションシナリオの構築を行い、次に要件定義フェーズとして、ソリューションのユースケースを検討し具体的なシステムの機能定義と構造設計を行う。検証評価プロセスでは、デザインされたシステムのプロトタイピングを行いシステムを検証し、さらにユーザーのフィードバックを獲得することでシステムの妥当性を評価する。

また、デザインプロセスの一環として、システムの目的や物理構造およびユーザーニーズなど含めシステム全体を俯瞰し、デザインされたシステムにおける価値の構造を分析する。

第3章 システムのデザイン

3.1 要求分析とソリューションシナリオ

3.1.1 モバイル環境における電力利用の現状

システムをデザインするにあたり、現状を把握するためにモバイルユーザーが現在どのように電力を取得しているかを次の図にまとめた。

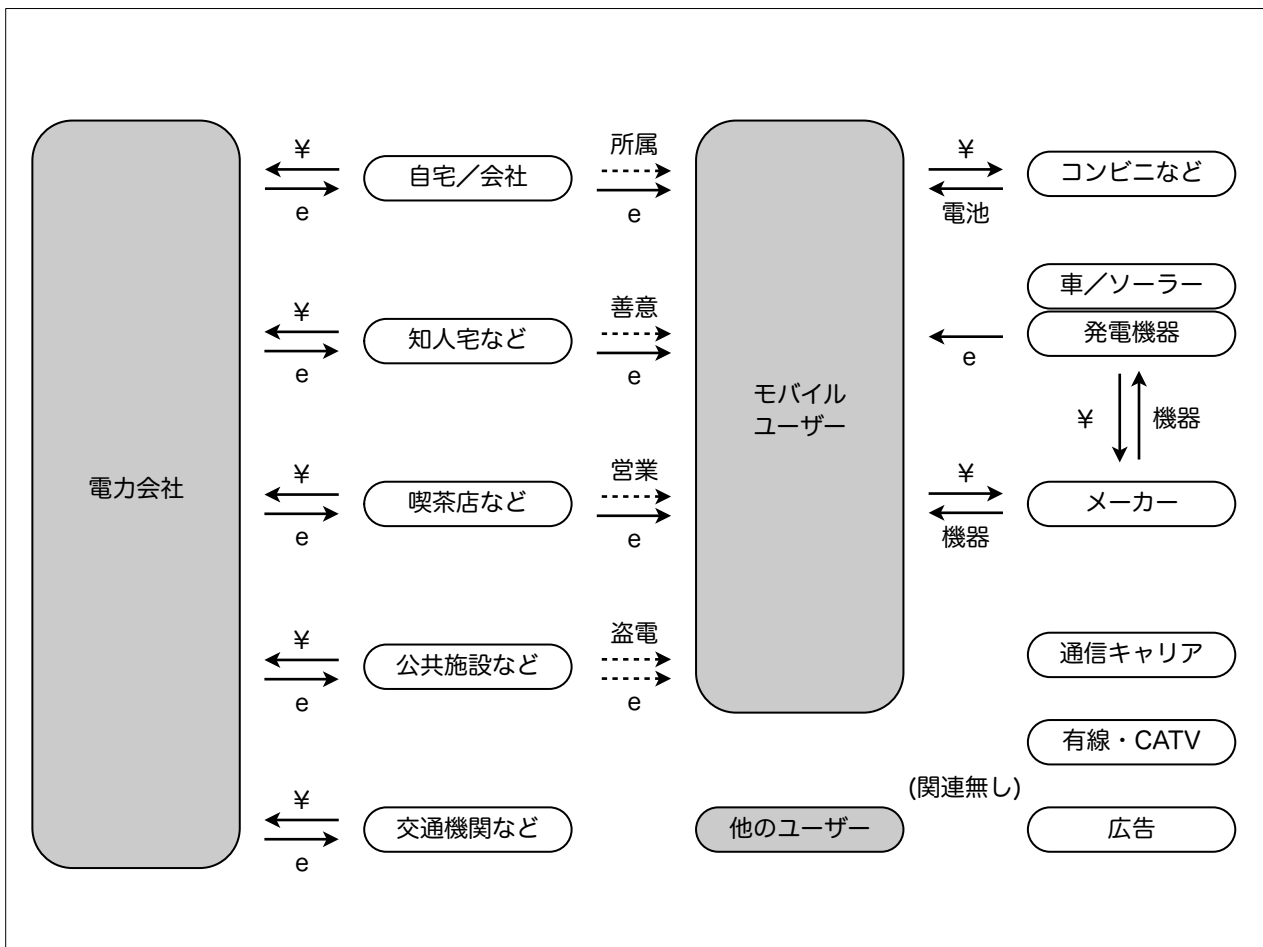


図7：モバイル環境における電力利用

主に自宅などで充電を行いモバイル機器を利用しているが、外出先では自由に充電できない。充電する場合は、他の人に善意として電力の使用許可をもらって充電できるケース、サービスの一環として電源が提供されているケース、勝手に電源を使用して盗電(電力の窃盗)となるケースなどがある。ユーザーがいつでもどこでも自由に充電可能とするには公衆電源など新たなサー

ビスが必要であるが、給電インフラの整備や課金システムなどサービス普及へのハードルは低くない。交通機関などにおいても一部で座席電源サービス等があるものの誰もが利用できる電源は無く、移動中に充電することは困難である。また、モバイル環境にとって重要である通信や情報サービスにおいては広告事業モデル等による無料提供などが見られるが電力の提供については関連がない。また、モバイル機器への充電はユーザー個人単独の問題であり他のユーザーとの関係は現状全くない。これは重要な発見であった。

3.1.2 生じている問題の理解

モバイル環境における電力の利用に関して問題を可能な限り列挙し、いくつかのグループにまとめた。

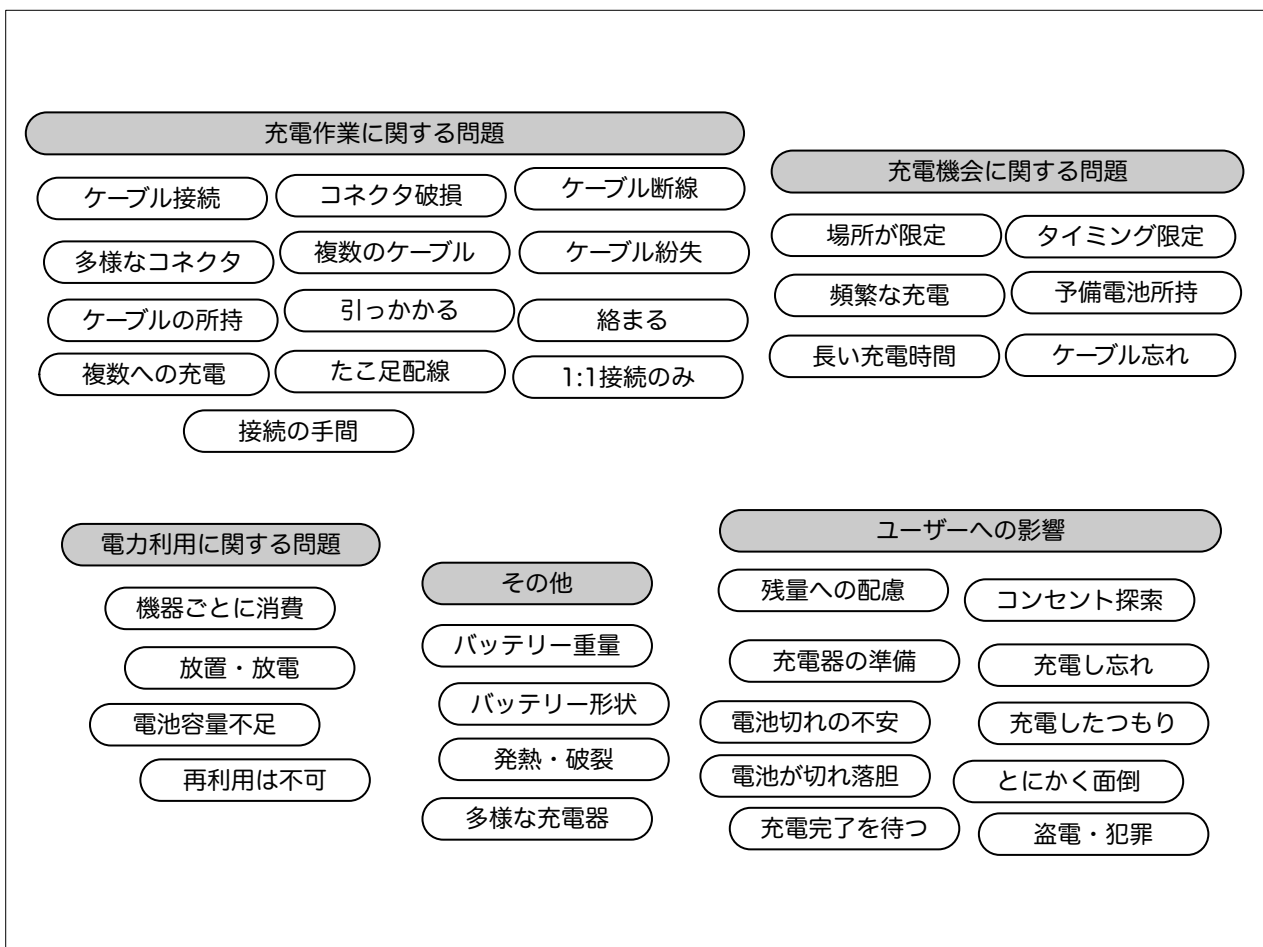


図8：モバイル環境における電力利用に関する問題

充電作業に関する問題、充電機会に関する問題、電力利用に関する問題、その他の問題といった4つのグループと、それらを原因とするユーザーへの影響という形に分類された。

3.1.3 ソリューションプランの作成

問題解決の基本プランを得るために、挙げられた各問題に対する改善策をブレインストーミング法によって列挙した。次に、それぞれから有効と思われるソリューション案をピックアップして連携させ、一つのソリューションプランとしてまとめた。その結果、ワイヤレス化、充電自動化、給電機会増加によって多くの問題に対応できることがわかる。

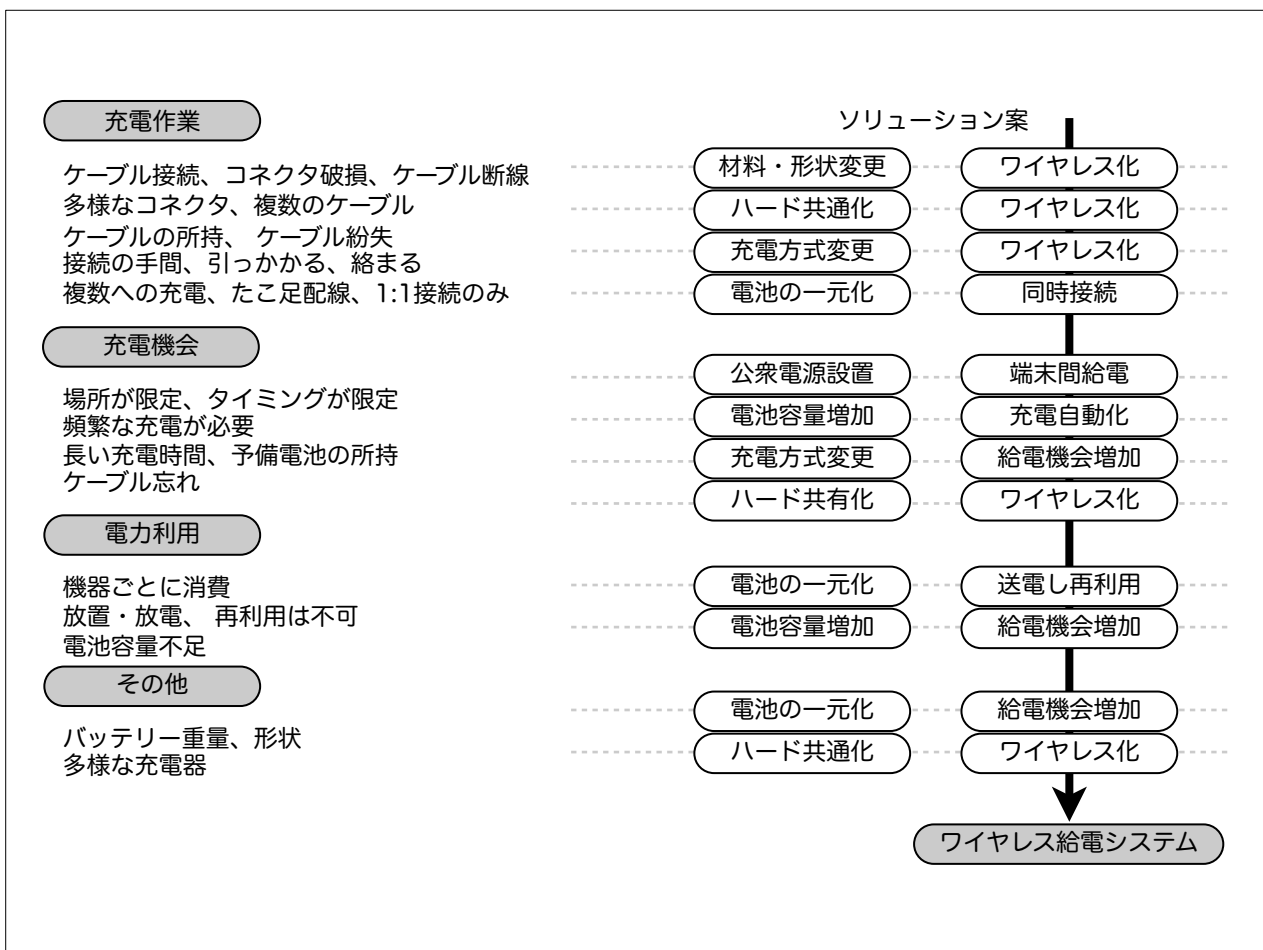


図9：問題とソリューションプラン

3.1.4 ソリューションシナリオ

様々な問題からその解決のためのソリューションプランを作成し、構築するシステムとその効果からユーザーへの影響に至るまでの一連の流れについて、ソリューションシナリオとして次のようにまとめた。

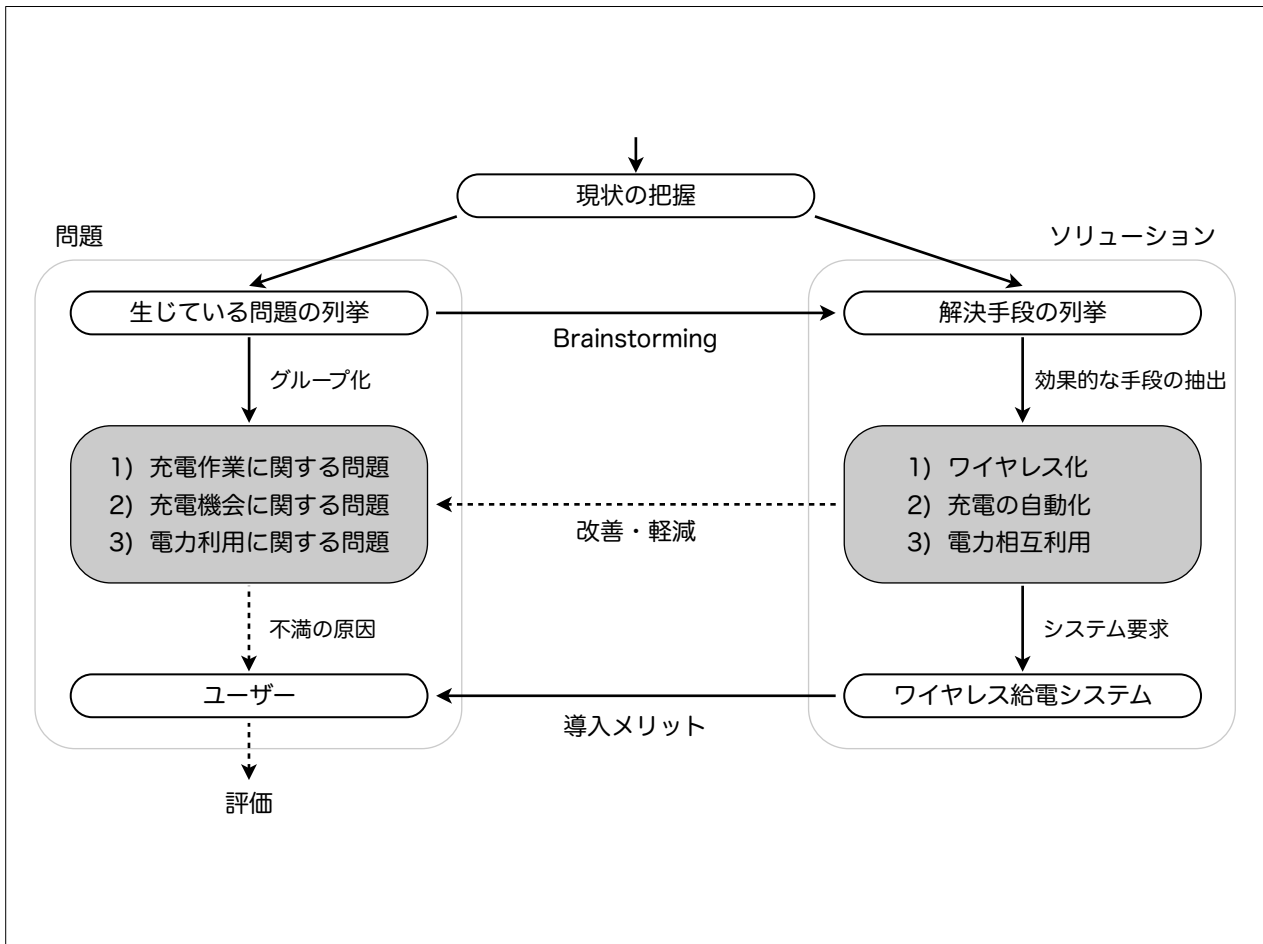


図10: ソリューションシナリオ

ワイヤレス化や充電自動化等により問題が解決に向かい、それに伴い問題を原因に生じていたユーザーへの影響も改善が期待される。また、ワイヤレス電力伝送をモバイル機器同士さらにユーザー同士へと拡張し、互いに電力を融通し合い相互利用することによって給電機会の増加を実現させる。これをソリューションシナリオとして、次に具体的なシステムのデザインを行う。システム要求はワイヤレス化、充電自動化、電力相互利用である。

3.2 ユースケースと要件定義

3.2.1 ユースケースの検討

ソリューションシナリオによって作成されたワイヤレス給電システムについて具体的な設計を進めるためユースケースを考える。システム要求として挙げられたワイヤレス化、充電自動化、電力相互利用による給電機会増加を踏まえ、ここでは下記の3つのユースケースを考える。

- 1) ワイヤレス化と充電自動化
- 2) 機器間で電力を相互利用し給電機会を増加
- 3) ユーザー間で電力を相互利用し給電機会を増加

その1：ワイヤレス化と充電自動化

壁コンセントなどのAC電源に接続されたワイヤレス電源からワイヤレスで電力を供給する。ワイヤレス給電により充電器及びケーブルを繋ぐ必要がなくなり、さらに自動的な充電、複数機器への同時充電を可能にする。

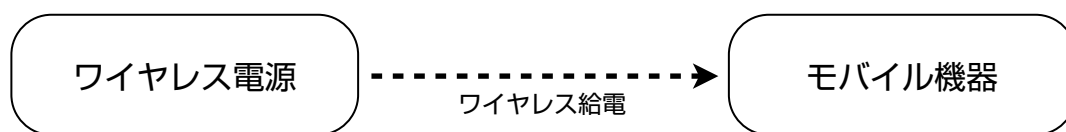


図11: ワイヤレス化と充電自動化

【オペレーションリスト】

- 機器情報、伝送条件、通信条件などの初期設定
- バッテリー残量低下時等に近隣をサーチしワイヤレス電源にアクセス
- パスワードによる認証後、伝送条件を判断し給電を開始
- 登録済みのワイヤレス電源からは自動的に給電を開始

その2：機器間で電力相互利用

現状では電力の利用について他の機器との関連はほとんどないが、同一ユーザーが複数の機器を利用している状況において、一つの機器のバッテリー残量が低下しても他の機器には十分な電力が残っていることも多い。その電力を有効利用するためにモバイル機器にワイヤレス電力伝送機能を搭載し、機器間での電力相互利用を行うことで給電機会を増加させる。

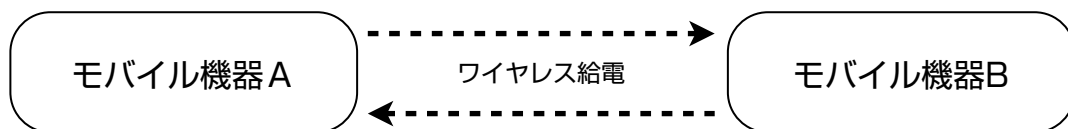


図12：機器間で電力相互利用

【オペレーションリスト】

- ・ 機器情報、伝送条件、通信条件などの初期設定
- ・ バッテリー残量低下時等に近隣をサーチし他の機器にアクセス
- ・ パスワードによる認証後、伝送条件を判断し給電を開始
- ・ 登録済みの機器からは自動的に給電を開始

その3：ユーザー間で電力相互利用

現状では電力の利用について他のモバイルユーザーとの関連は全くないが、自らが所有する電力がなくなっても周囲に居る他のユーザーは十分な電力を持っていることも多い。その電力を有効利用するために異なるユーザー間においても電力相互利用を行うことで給電機会をさらに増加させる。

また、ユーザー間に拡張することによりゲームやコミュニケーションツールへの応用や多数のユーザーで電気を分け合うソーシャルバッテリーの構築など新たな価値の創造が期待できる。

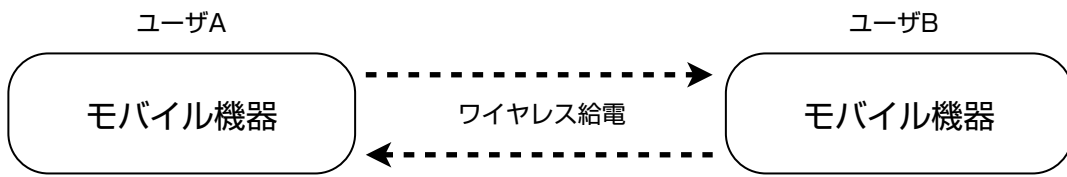


図13: ユーザー間で電力相互利用

【オペレーションリスト】

- 機器情報、ユーザー情報、伝送条件、通信条件などの初期設定
- バッテリー残量低下時等に近隣をサーチし他の機器にアクセス
- 異なるユーザーに対し、給電依頼を送信
- ユーザーによる認証後、伝送条件を判断し給電を開始

3.2.2 システムの基本構成

システムの基本構成を下図に示した。

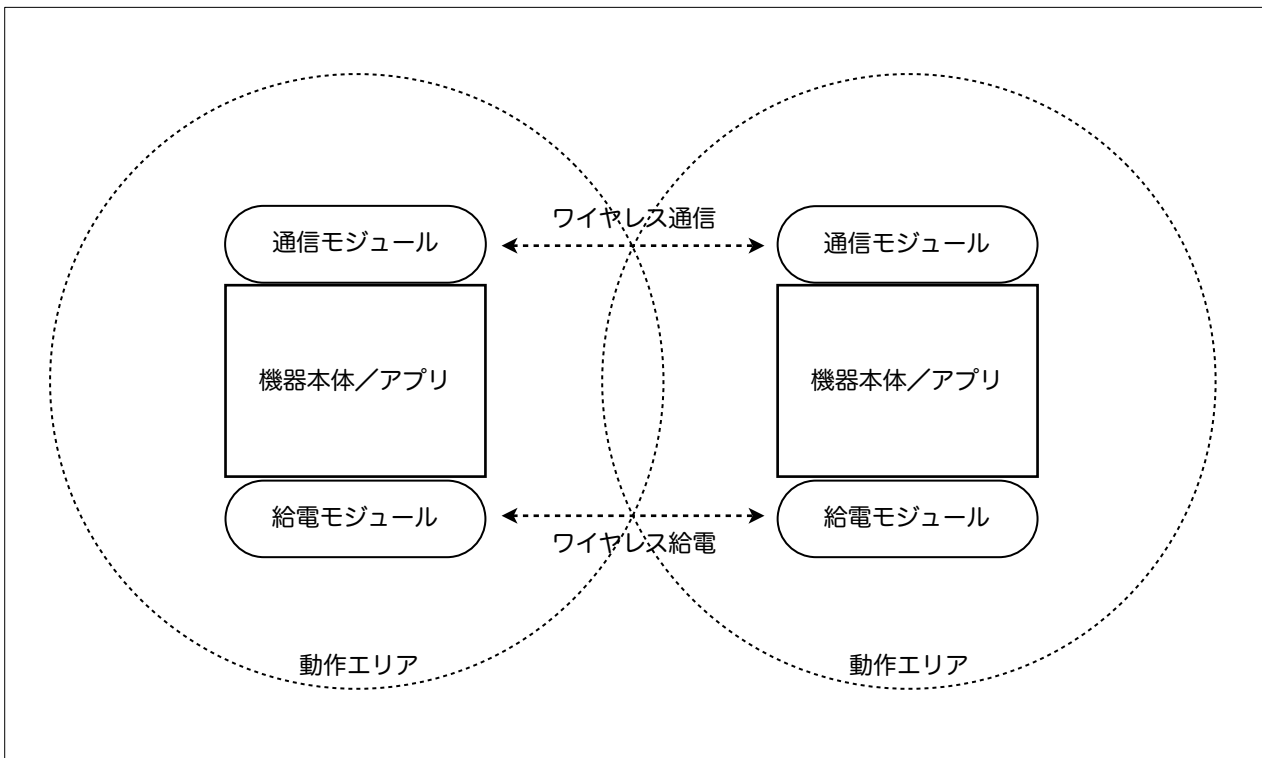


図14: 基本ユニットと動作エリア

ユースケースの検討から、ワイヤレス電力伝送機能の他に、機器の識別認証や状態管理などを行うために機器間の通信機能が必要であることがわかる。従って、モバイル機器本体に下記の3つのモジュールを追加しこれを基本ユニットと定義する。複数の基本ユニットによってシステムが構成される。

- ・ ワイヤレス電力伝送モジュール
- ・ ワイヤレス通信モジュール
- ・ 制御・管理モジュール (ソフトウェア)

動作エリアとしてはユーザーが機器を利用するパーソナルエリア(機器間距離)として1m程度を想定する。

機器間の認証とネットワーク構成について下図にまとめた。

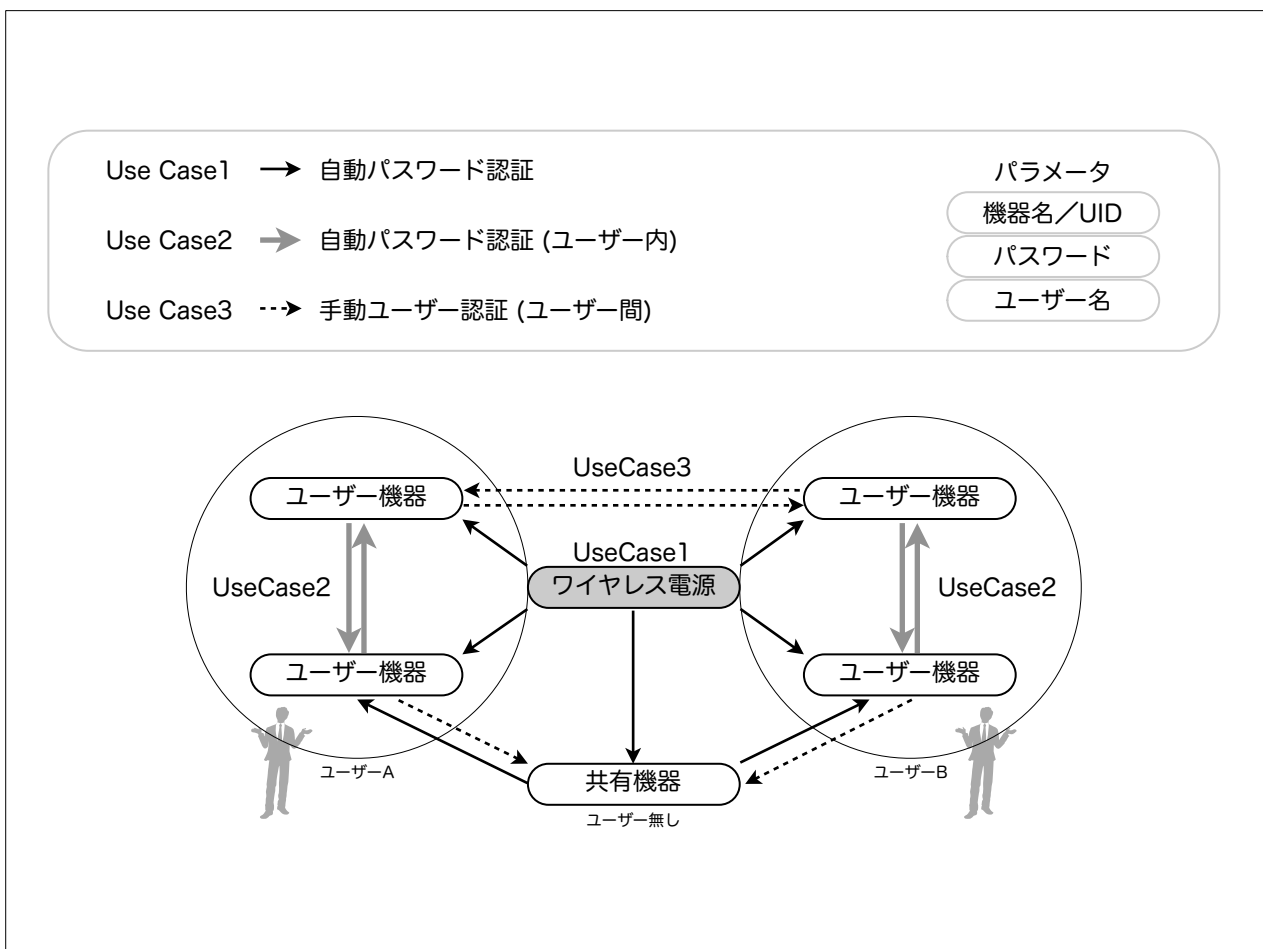


図15: 機器間の認証とネットワーク

3.2.3 ファンクションの定義

ユースケース及びシステムの基本構成から、必要となるファンクションを下図にまとめた。ワイヤレスで電力をやり取りする機能を構成する要素は、機器間で電力伝送する機能、機器間で通信する機能、機器を操作する機能の3つに分類される。

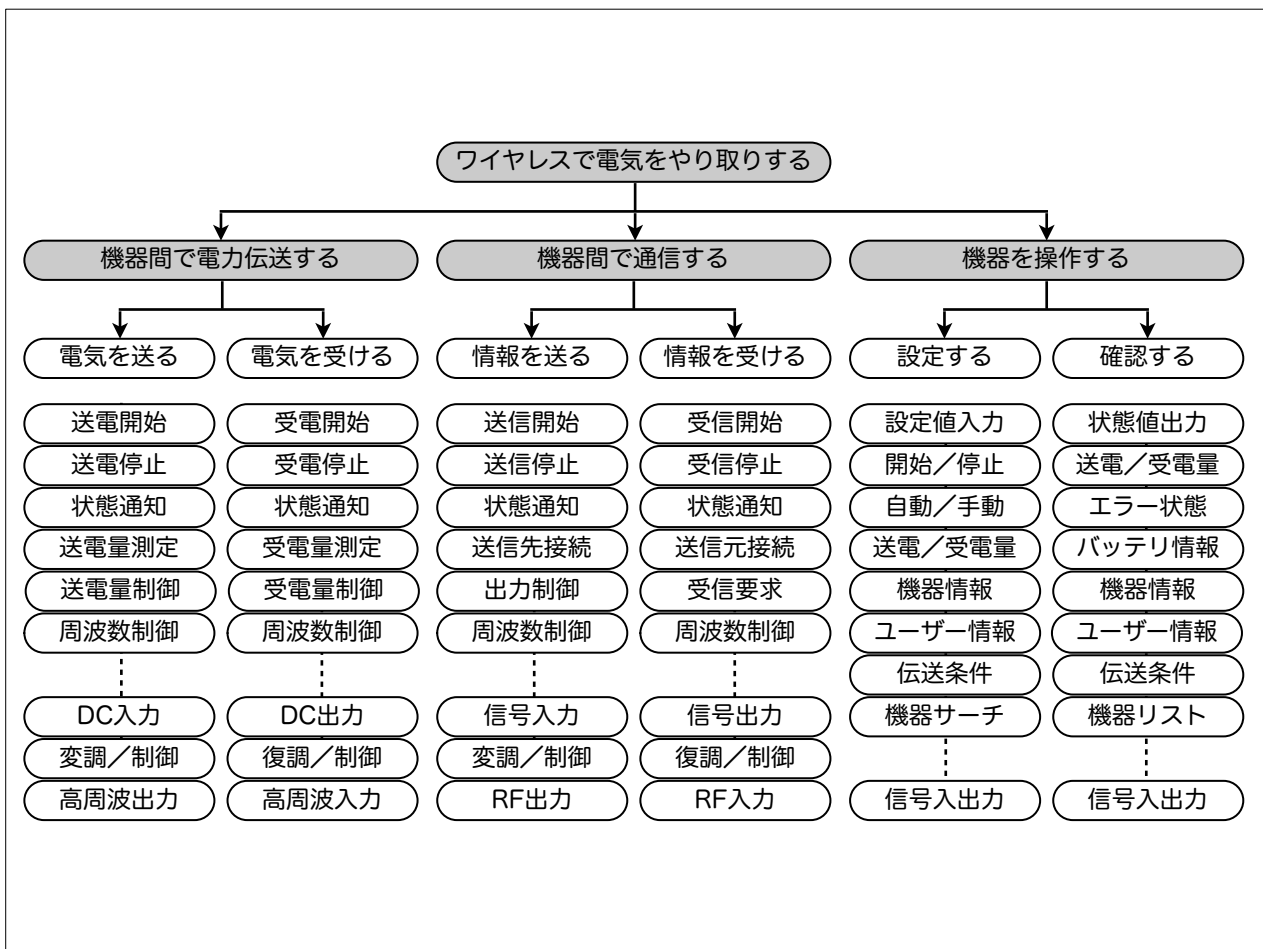


図16: ファンクションリスト

機器間で電力伝送する機能はワイヤレス電力伝送モジュール、機器間で通信する機能はワイヤレス通信モジュール、機器を操作する機能は制御・管理モジュールに相当し、それぞれサブシステムとして構築される。

3.2.4 ワイヤレス電力伝送方式の選定

ワイヤレス電力伝送モジュールにて使用する給電方式はPughセレクションにより選定する。

表 3：ワイヤレス電力伝送方式の比較

伝送方式	電磁誘導	磁界共鳴	マイクロ波	エバネッセント	電界結合	レーザー
伝送距離	数mm～数十cm	数cm～数m	～数万km	数mm～数十cm	数mm～数十cm	～数百m
伝送電力	数W～数kW	数W～数kW	～GW	～数W	数W～100W	数百W
伝送効率	～90%	～90%	～50%	～10%	～90%	～40%
位置自由度	低	高	高	中	中	高
サイズ	数cm	数cm	大型	中型	数cm	大型
安全性	高	高	低	高	高	低

表 4：ワイヤレス電力伝送方式の選定

伝送方式	電磁誘導	磁界共鳴	マイクロ波	エバネッセント	電界結合	レーザー
伝送距離	D	+	+	+	S	+
伝送電力	A	+	+	+	S	+
伝送効率	T	+	-	-	S	-
位置自由度	U	+	+	S	S	+
サイズ	M	S	-	-	+	-
安全性	-	S	-	S	S	-
$\Sigma+$	-	4	3	2	1	3
$\Sigma-$	-	0	3	2	0	3
ΣS	-	2	0	2	5	0
総合評価	-	4	0	0	1	0

比較評価の結果、電磁誘導方式に比べ磁界共鳴方式が最も優位であった。伝送距離と位置自由度の高さが大きなメリットである。

3.2.5 ワイヤレス通信方式の選定

ワイヤレス通信モジュールにて使用する通信方式はPughセレクションにより選定する。

表 5：ワイヤレス通信方式の比較

通信方式	BlueTooth	NFC	ZigBee	Wi-Fi	RFID	UWB
通信距離	~100m	~10cm	~70m	~100m	~数m	~10m
通信速度	24M	424k	250k	600M	数十k	480M
消費電力	120mW	数mW	60mW	1000mW	~数百mW	200mW
通信路	1:n	1:1	n:n	n:n	1:n	n:n
入手性	高	低	高	高	高	低
開発容易性	低	低	高	高	低	低

表 6：ワイヤレス通信方式の選定

通信方式	BlueTooth	NFC	ZigBee	Wi-Fi	RFID	UWB
通信距離	D	-	S	S	-	S
通信速度	A	S	S	S	S	S
消費電力	T	+	+	-	+	-
通信路	U	-	+	+	-	+
入手性	M	-	S	S	-	-
開発容易性	-	S	+	+	S	-
$\Sigma+$	-	1	3	2	1	1
$\Sigma-$	-	3	0	1	3	3
ΣS	-	2	3	3	2	2
総合評価	-	-2	3	1	-2	-2

比較評価の結果、BlueTooth方式に比べZigBee方式が最も優位であった。なお通信モジュールについては運用方法次第でZigBee方式以外でも実装可能な場合がある。本研究では低消費電力である点とネットワーク構築のし易さにより採用した。

3.2.6 ハードウェアストラクチャ

具体的なハードウェア構造を定義し、ファンクションとハードウェアストラクチャーの関係性をまとめた。

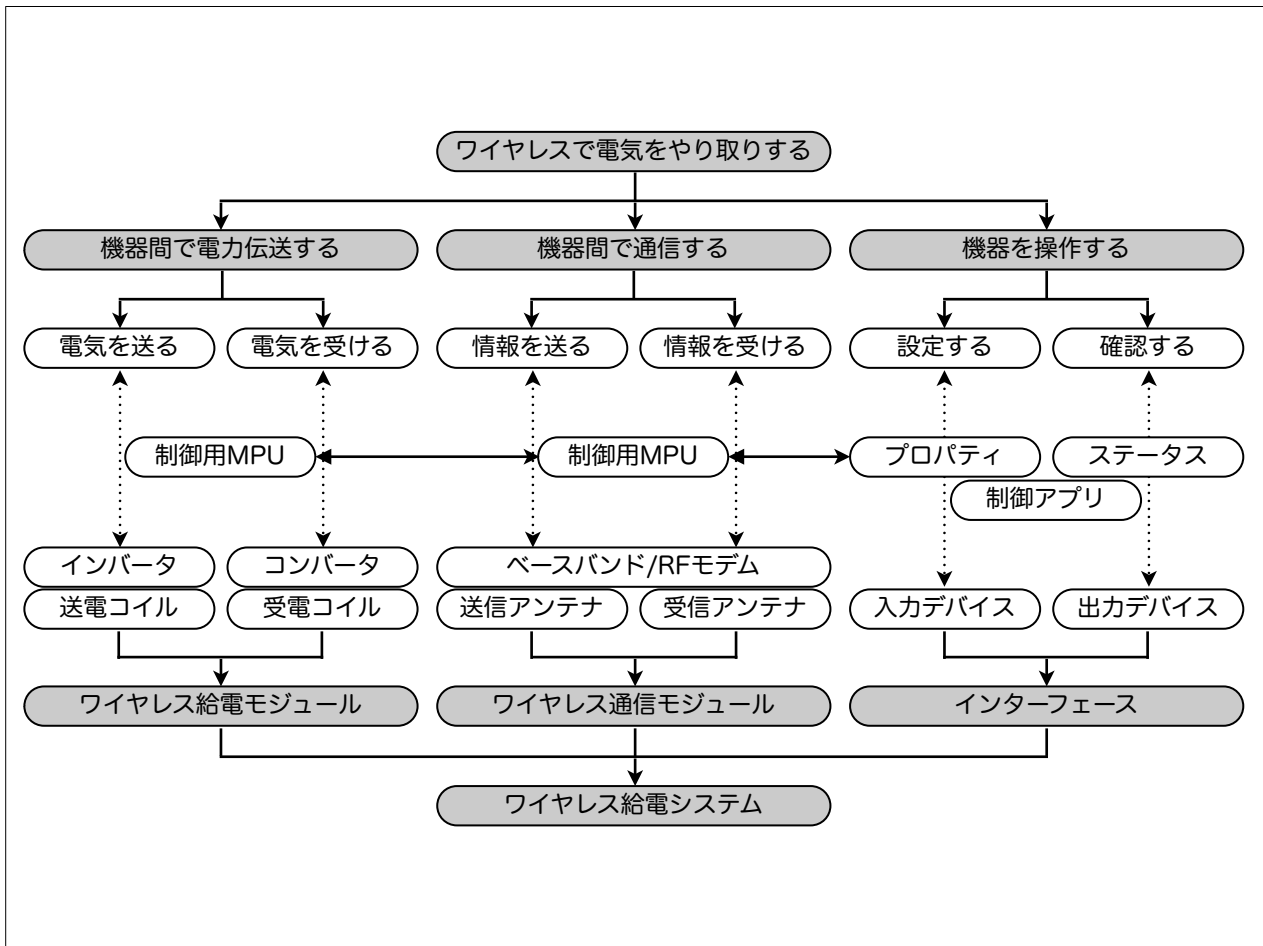


図17: ファンクションとハードウェアストラクチャー

ワイヤレス給電モジュールは磁界共鳴方式、ワイヤレス通信モジュールは ZigBee方式によって実装され、制御・管理モジュールはソフトウェアにて実装される。

3.3 ユーザー要求とシステムバリュー

3.3.1 システムの目的と構造

システムの目的と構造およびその価値を明確化させるために、デザインしたシステムを俯瞰し下図のとおりバリューグラフとしてまとめた。電力伝送システムを単に電力の送電・受電の機能として利用するだけでなく、他のユーザーとの関連という要素を付加させることによって電力利用に関する新たなバリューが創造できることがわかる。図の下半分はワイヤレス給電システムに対するユーザーのニーズと対応する工学的な尺度、それを実現する物理構造との関係性をまとめたものである。

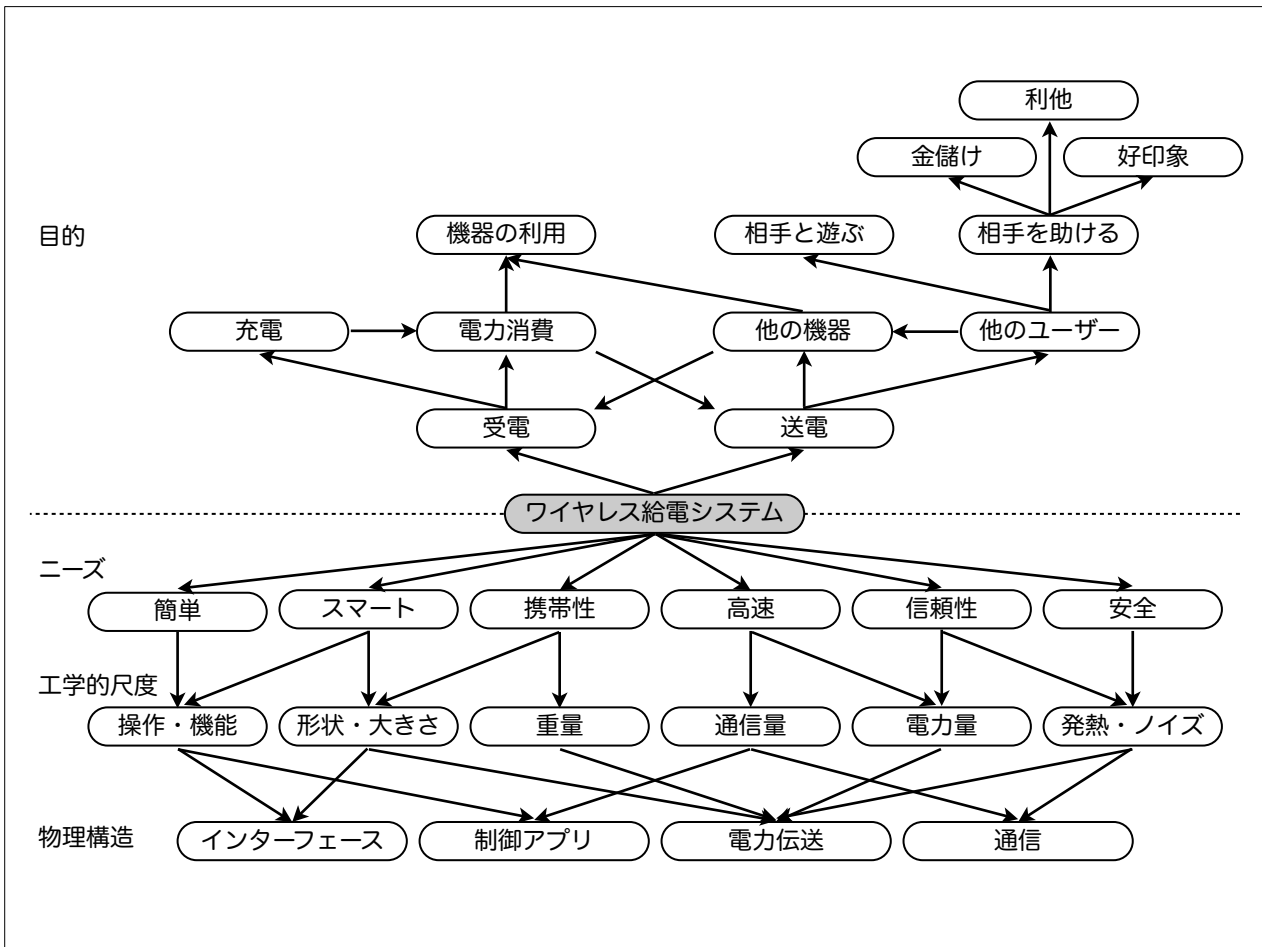


図18: バリューグラフ

3.3.2 ユーザーニーズの理解

ワイヤレス給電システムに対するユーザーの基本的なニーズを理解するため、1つ以上のモバイル機器を利用しているモバイルユーザーに対し調査を行った。

表7：モバイル用ワイヤレス給電システムに特に求めるのは？

ユーザーニーズ	そう 思う	やや 思う	どちら とも	やや 思わない	そう 思わない	評価
簡単	6	3	1	0	0	45
スマート	1	4	2	3	0	33
携帯性	6	2	2	0	0	44
高速	2	3	3	2	0	35
信頼性	1	1	3	3	2	26
安全	2	2	2	3	1	31
価格	2	3	3	1	1	34
デザイン	0	0	2	3	5	17

有効回答数：10（ランダムサンプリング、リッカート尺度）

評価の結果、ユーザーは簡単さと携帯性を最も重要なファクターだと考えていることがわかった。

3.3.3 システムバリューの評価

システムを構成する様々な要素においてユーザーニーズを満足させるために重要となるポイントを評価するため、バリューグラフとしてまとめた各構成要素に対し、品質機能展開(Quality Function Deployment：QFD)による評価手法を用いてバリュー分析を行った。

フェーズ1として、アンケート結果をもとにユーザーニーズの重要度を9:3:1として重みを設定し、それぞれに影響を与える工学的尺度との関連度をまとめた。関連度は主観で9:3:1:0の比率で表現した。同様にフェーズ2として、工学的尺度とそれを実現する物理構造との関連度をまとめた。

表 8：品質機能展開 QFD Phase1

ユーザーニーズ	重み	操作・機能	形状	重量	通信量	電力量	ノイズ
簡単	9	9	0	0	0	0	0
スマート	3	9	3	1	0	0	0
携帯性	9	0	9	9	0	0	1
高速	3	1	0	0	9	9	0
信頼性	1	1	1	0	3	9	3
安全	3	1	1	0	1	3	9
合計		115	94	84	33	45	42
Phase1 重み		0.28	0.23	0.20	0.08	0.11	0.10

表 9：品質機能展開 QFD Phase2

工学的尺度	重み	インターフェース	制御アプリ	電力伝送	通信
操作・機能	0.28	9	9	0	0
形状	0.23	3	0	3	0
重量	0.20	1	0	3	0
通信量	0.08	0	3	0	9
電力量	0.11	0	1	9	0
ノイズ	0.10	0	0	3	1
合計		3.41	2.87	2.58	0.82
Phase2 重み		0.35	0.30	0.27	0.08

評価の結果、インターフェースが最も点数が高く、次に制御アプリケーションが重要であることがわかった。これらは使い勝手を大きく左右する要素であるためユーザー満足度を向上させるためにはシステムとして利便性を高めることが重要なポイントであると言える。

なお、この評価結果は対象とするユーザーや市場動向によって変化するものであり、適宜見直しながらシステムとして顧客満足を高めて行く必要がある。

3.4 デザインの結果と考察

モバイル環境における電力利用に関して現在生じている問題を洗い出し検討した結果、ワイヤレス化、充電自動化、給電機会増加によって多くの問題に対応できることがわかった。また、モバイルユーザーが現在どのように電力を取得しているかをまとめた結果、電力の取得に関しては他のユーザーとの関連がないことが浮き彫りとなった。そこで他の機器や他のユーザーとの電力相互利用という形で給電機会増加を図れるのではと考え、これらの結果を基にソリューションシナリオを構築した。

次に、ソリューションシナリオによって作成されたワイヤレス給電システムについてユースケースを検討し、システムの基本構成および必要なファンクションを定義した。ファンクションを実現するハードウェアとして電力伝送モジュールと通信モジュールが必要であり、様々な方式を比較し検討した結果、磁界共鳴方式による電力伝送モジュール、ZigBee方式によるワイヤレス通信モジュールにより構成することとした。

デザインしたワイヤレス給電システムの全体を俯瞰し、システムの目的とその構成、ニーズとそれを実現する物理構造へ至るまでの関係性をまとめ、バリュー分析を行った結果、ユーザーにとってシステムのインターフェースと制御アプリケーションが重要なファクターであることがわかった。これらは使い勝手を大きく左右する要素であるためシステムとしてユーザーの利便性を高めることが必要とされ重要なポイントである。

また、ワイヤレス給電をユーザー間の電力相互利用へと拡張することによりゲームやコミュニケーションツールとしての応用や多数のユーザーで電気を分け合いながら利用するソーシャルバッテリーの構築など新たな価値の創造が期待できる。

第4章 提案するシステム

4.1 システムの概要

現在、モバイル機器のバッテリーに充電を行う際には、充電器を電源及び機器にそれぞれ接続するといった作業が必要であるが、ワイヤレス電力伝送によって機器へワイヤレスで電力供給することができればケーブルとその接続作業が不要となるため、手間がかからない上にユーザーが意識することなく自動的に充電されるといったことも可能になる。さらに、モバイル機器にワイヤレス送電機能を搭載することで、機器同士でのワイヤレスな電力授受が可能になる。つまり、ある機器のバッテリー残量が低下しても他の機器が保持している電力を使って動作させることが可能となる。また、異なるユーザー同士で電力を分け合って使用することもできるため、システムの応用性も高く新たなサービスへの発展も期待できる。これにより頻繁な充電作業の負荷を軽減すると共にバッテリー切れでモバイル機器が利用できない状態を回避し、モバイル電力のさらなる効率的な利用を促進する給電システムが実現できる。本研究ではこれをワイヤレス給電システムとして提案する。

4.2 システムの機能と効果

本システムの主な機能は、ワイヤレス受電機能、ワイヤレス送電機能、通信による機器識別機能の3つである。これに加えて全体を制御・管理するソフトウェアによってシステムが構成される。このシステムの実現により次のような効果を期待する。

- 1) ワイヤレス給電により充電作業の軽減を図る
- 2) モバイル機器同士での電力伝送を可能にし、給電機会の増加を図る
- 3) 機器間電力伝送により、モバイル電力の効率的な利用を行う
- 4) ユーザー間での電力伝送を可能にし、さらに給電機会の増加を図る
- 5) ユーザー間の電力相互利用を応用し新たな価値を創造する

これらの具体的な応用例を挙げシステムを提案する。

4.3 システム応用例 1 (ラクラク充電)

自宅やオフィス内でのワイヤレス電力伝送による自動充電。AC電源に接続されたワイヤレス電源ユニットから、登録されたモバイル機器に自動的にワイヤレスで充電を行う。

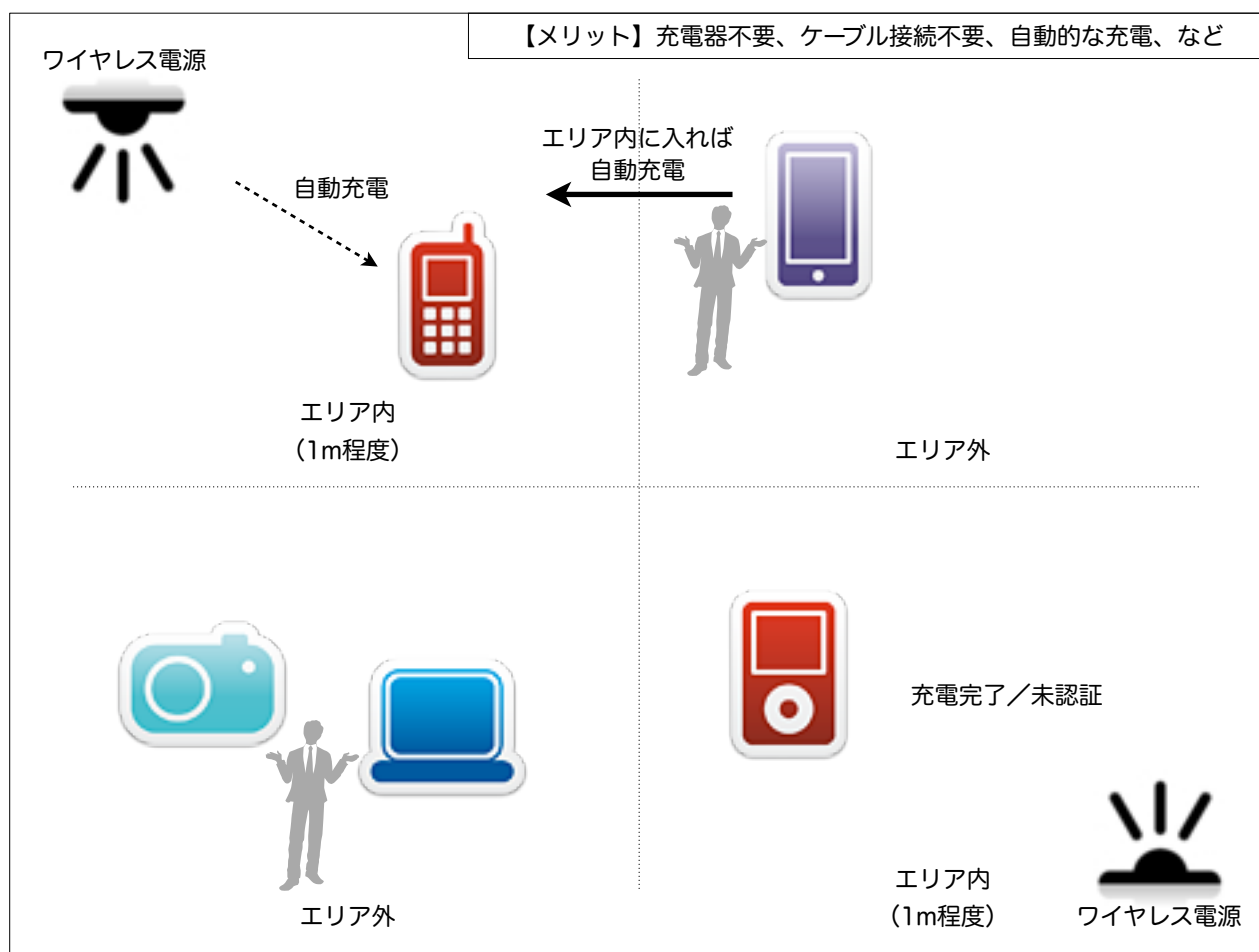


図19: ラクラク充電

ワイヤレス電源にはワイヤレス送電機能と通信機能、モバイル機器にはワイヤレス受電機能と通信機能が搭載されている。ワイヤレス電源の給電エリア内においてワイヤレス電源とモバイル機器との間で通信を行い、機器の識別と状態確認を行った上で充電が必要であれば自動的に給電される。初期設定としてワイヤレス電源との認証設定が必要であり、未認証の機器には給電されない。

4.4 システム応用例2 (ワイヤレスバッテリー)

携帯可能なバッテリー専用機からモバイル機器にワイヤレスで給電を行う。ワイヤレス電源のエリア外においてもバッテリーから給電可能にする。

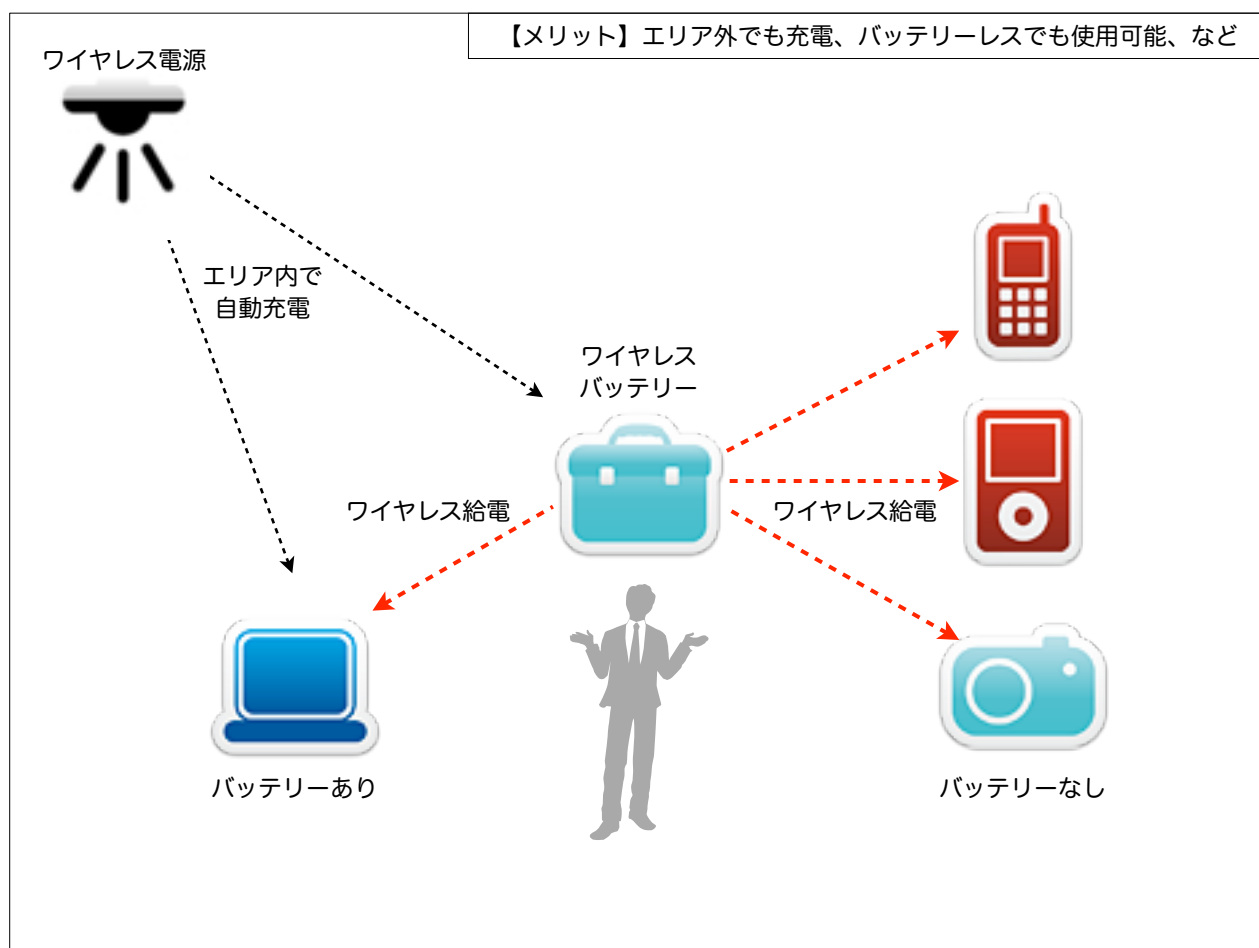


図20: ワイヤレスバッテリー

ワイヤレスバッテリーにはワイヤレス受電／送電機能と通信機能が搭載され、十分な蓄電容量を持つ。モバイル機器にはワイヤレス受電機能及び通信機能が搭載され、必要に応じてワイヤレスバッテリーから自動的に給電を受ける。電源の無い環境でも給電できる上、バッテリーレスでも利用可能となる。バッテリーの一元化によって充電対象が集約され簡素化されると共に、モバイル機器の小型／軽量化など設計の自由度向上も期待できる。初期設定として機器間の認証設定が必要であり、未認証の機器には給電されない。

4.5 システム応用例3 (バッテリーグリッド)

モバイル機器間でのワイヤレス給電を可能とし、バッテリーを相互に接続することでバッテリーグリッドを構成する。仮想的なバッテリー統合によって電力を有効利用し、機器のバッテリー切れの状態を減少させる。

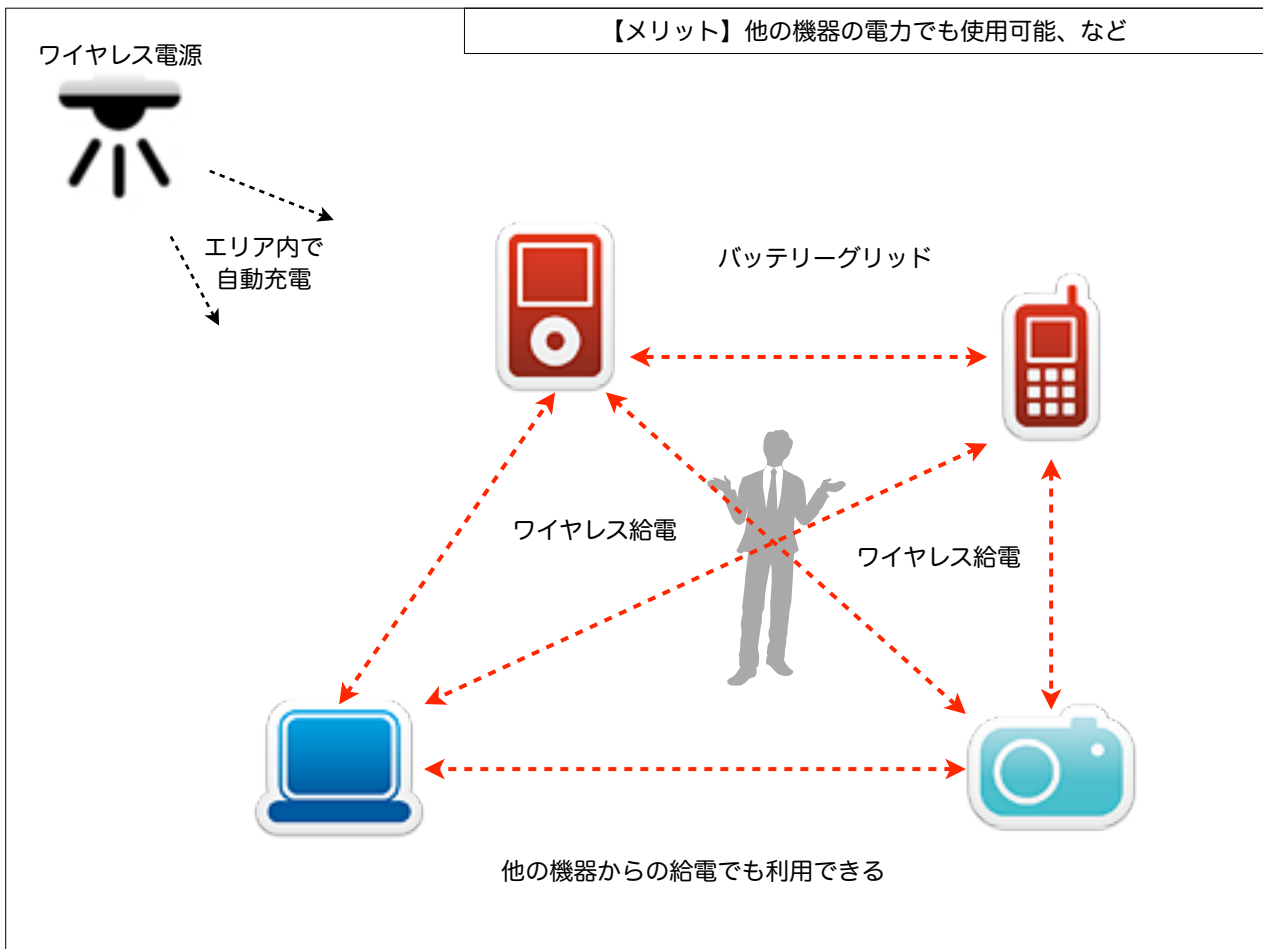


図21: バッテリーグリッド

モバイル機器にはワイヤレス受電機能と通信機能に加え、ワイヤレス送電機能を搭載する。バッテリーグリッド内では機器ごとのバッテリー残量に応じて自動的に給電し合い残量が調整される。従って、全モバイル機器のバッテリー残量の総和まで利用可能となり、電源の無い環境でも機器単独でバッテリー切れとはならない。初期設定として機器間の認証設定が必要であり、未認証の機器には給電されない。

4.6 システム応用例4 (優しい電気)

ユーザーの異なるモバイル機器間でのワイヤレス給電を可能とし、ユーザー間で電力をやり取りする。電池切れで困っているユーザーを救済する。

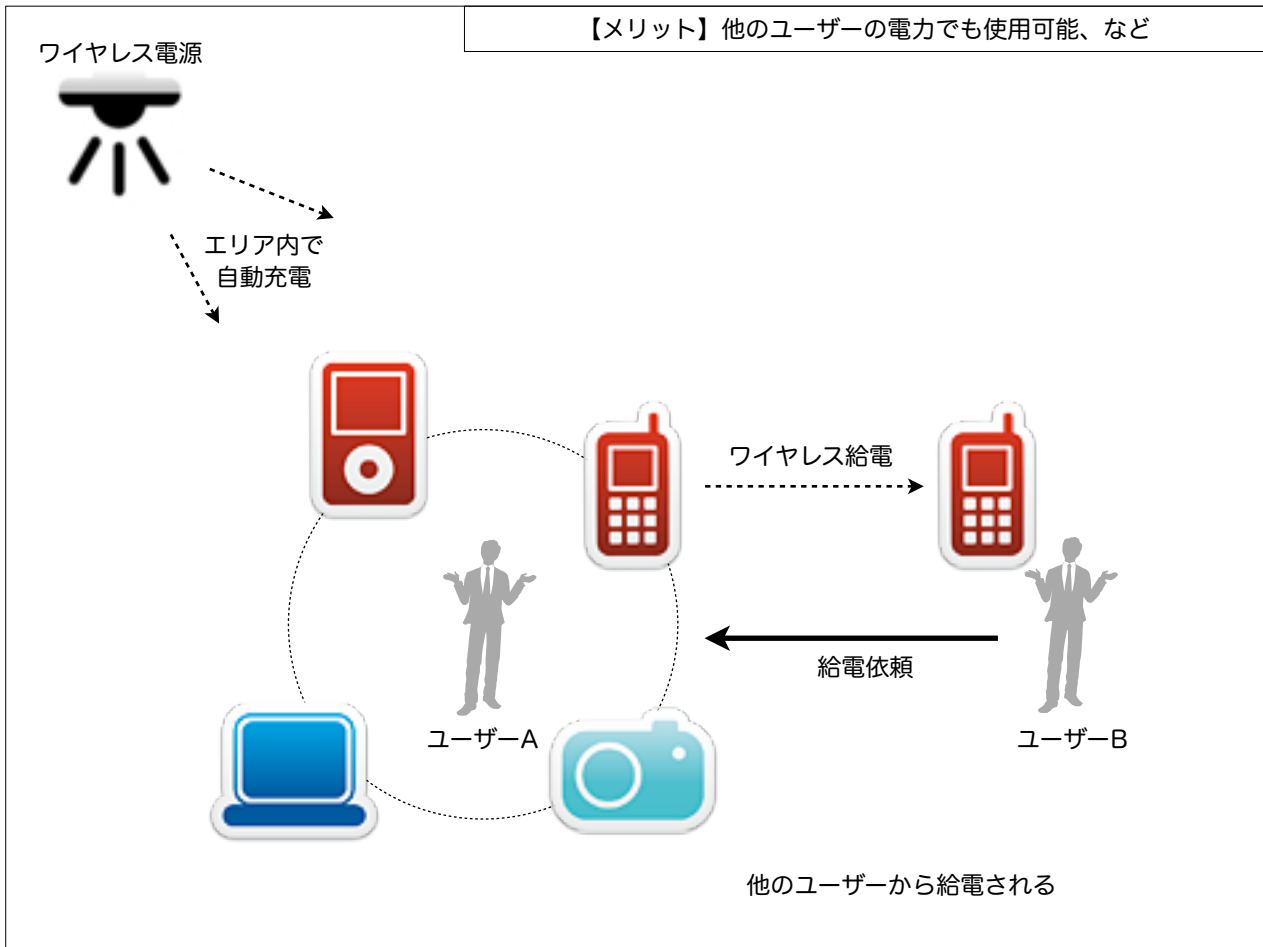


図22: 優しい電気

モバイル機器にはワイヤレス受電／送電機能と通信機能が搭載され、通信によりユーザー識別を行う。バッテリーに余裕があるユーザーAに対し、残量の少ないユーザーBが給電を依頼し、ユーザーAが許可することにより電力をお裾分けする。許可しない限り電力伝送されず、バッテリー残量が低下して困っているユーザーを助けてあげたいと思う優しい気持ちによって、優しい電気がワイヤレス伝送される。この他にもユーザー間で電力をやり取りすることによってゲームへの応用や課金など様々な応用の可能性がある。

4.7 システム応用例5 (ソーシャルバッテリー)

ユーザー間でのワイヤレス給電を自動化し、各ユーザーのバッテリーを相互に接続することでソーシャルバッテリーグリッドを構成する。ユーザー間で常時電力をやり取りしP2Pモバイル電力インフラとして機能させる。

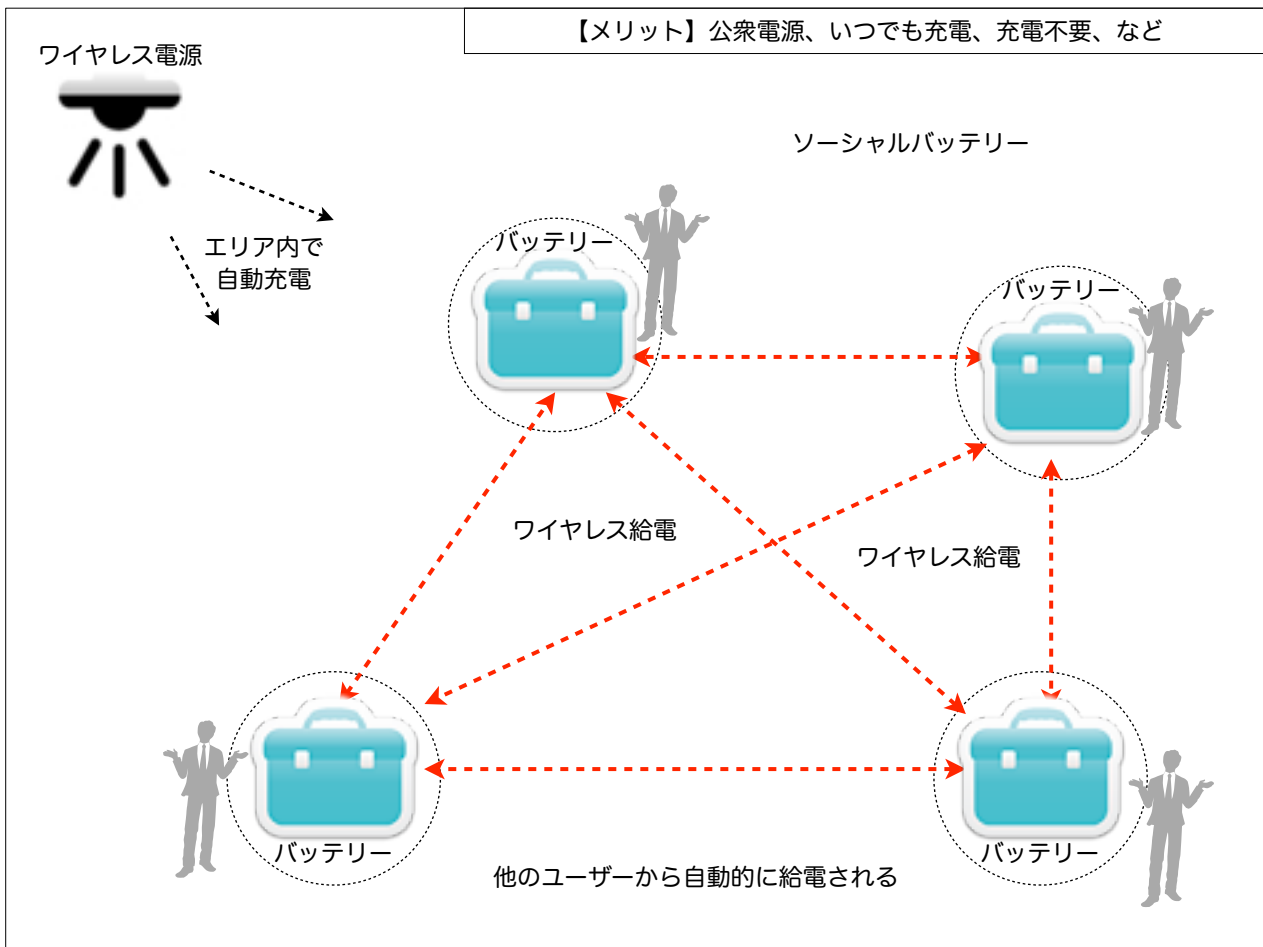


図23: ソーシャルバッテリー

各ユーザーのバッテリー総量において、一定のバッテリー容量をユーザー領域、残りをパブリック領域と定義する。近隣のユーザー間でパブリック領域を比較し、多い方から少ない方へ自動的にワイヤレス電力伝送する。これを逐次繰り返すことでPeer to Peerで一定の電力が流れ、モバイル電力インフラとして機能させる。ユーザー残量が低下すればパブリック領域から電力が補充されるが、従量制とする場合は電力課金システムが必要となる。

第5章 システムの検証と評価

5.1 プロトタイピング

5.1.1 プロトタイプの概要

システムを構成する基本ユニットのプロトタイプを作成する。基本ユニットはベースとなるモバイル機器に通信モジュール、給電モジュール、ソフトウェアによる制御／管理モジュールにより構成される。このプロトタイプは複数の基本ユニットが動作エリア内で互いに通信と給電を行うものである。

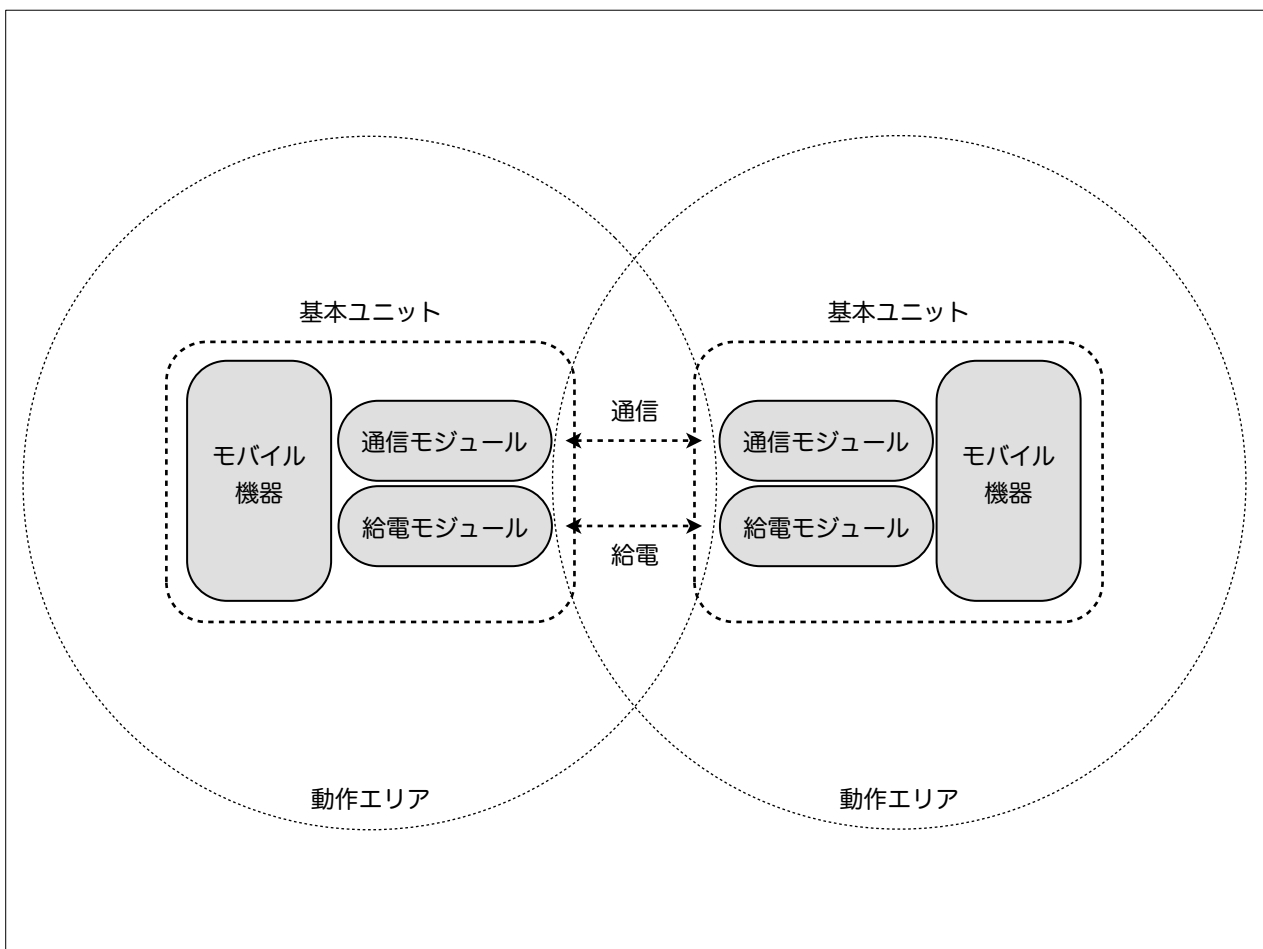


図24: システムの基本ユニット

5.1.2 システムの内部構成

基本ユニットの構成と入出力の関係を下図に示した。

なお、給電モジュールについては現在、磁界共鳴方式の電力伝送技術が基礎研究段階であるため、磁界共鳴方式ワイヤレス給電モジュールの代わりに、内部にバッテリーを搭載した疑似給電モジュールの実装を行う。これはワイヤレスで受電する電力の代わりに内部のバッテリーから給電するもので、ワイヤレス給電モジュールのスタブとして機能させるものである。

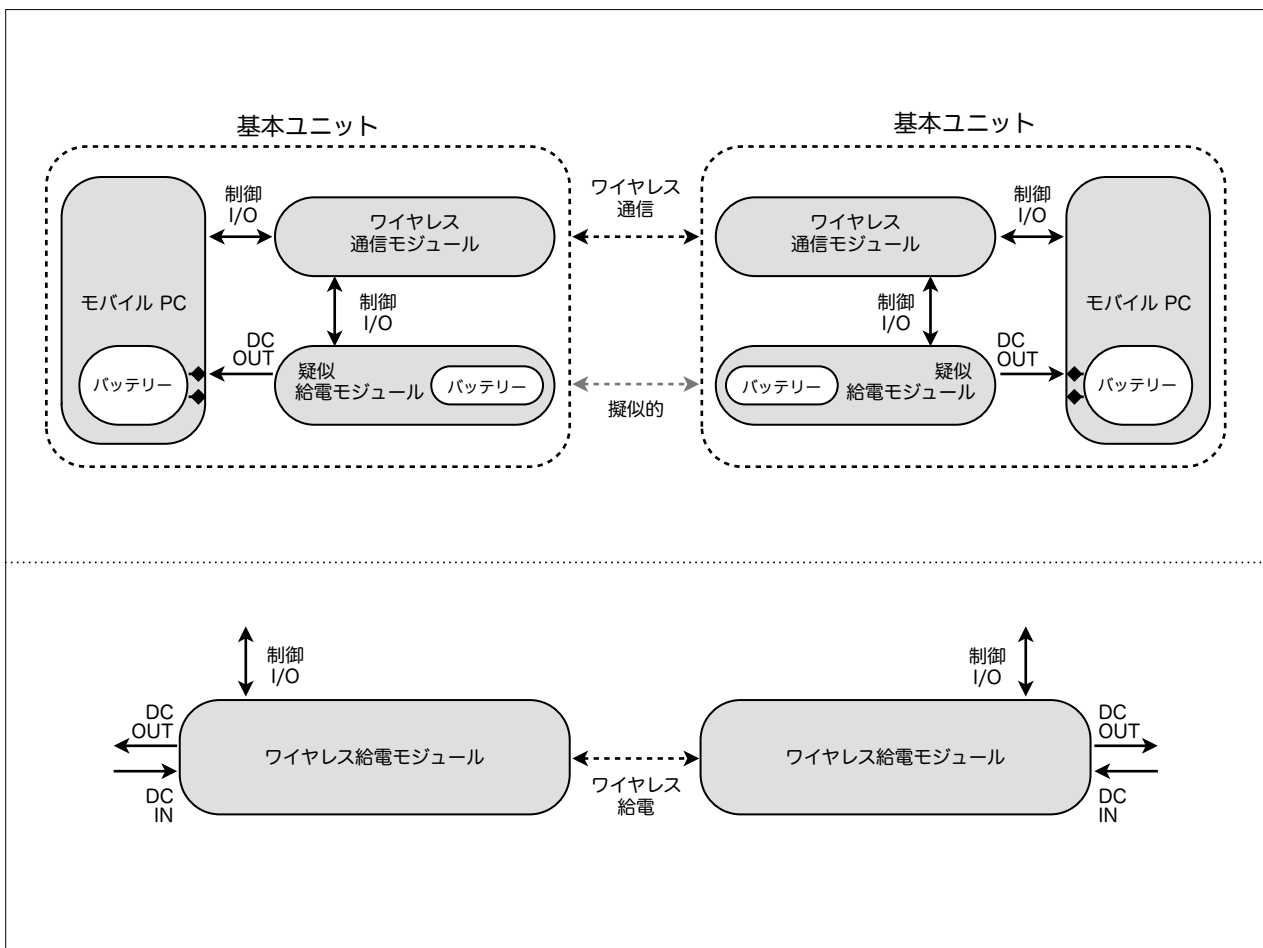


図25: 基本ユニットの構成と入出力

なお、将来的に磁界共鳴方式ワイヤレス給電モジュールが実装可能な際に、疑似給電モジュールから換装することを想定し実装している。

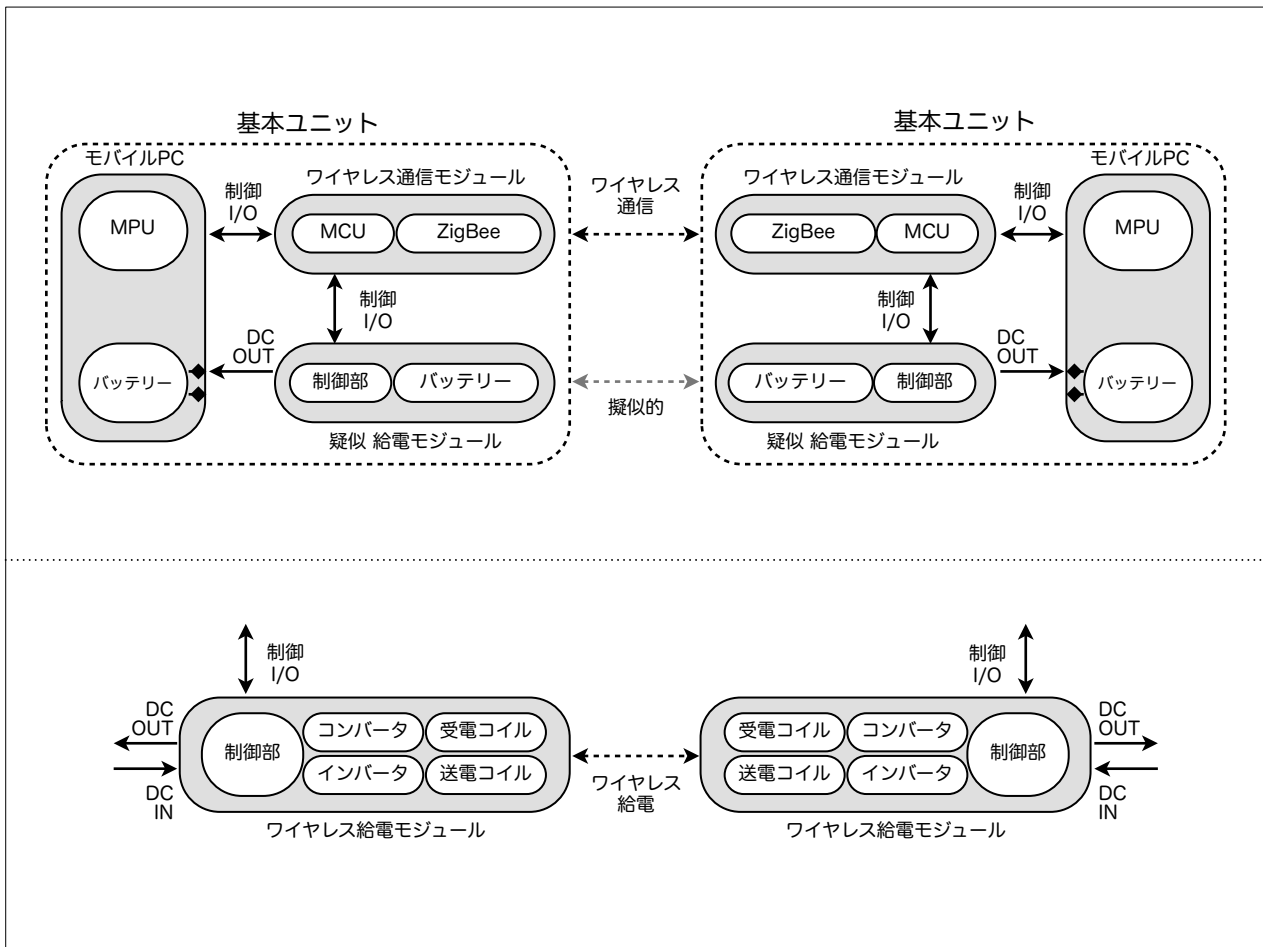


図26: 基本ユニットの内部構成

搭載するソフトウェアについては、制御／管理モジュールおよび通信モジュール上のファームウェアを本プロトタイプのために独自に設計し実装を行った。



図27: システムのプロトタイプ

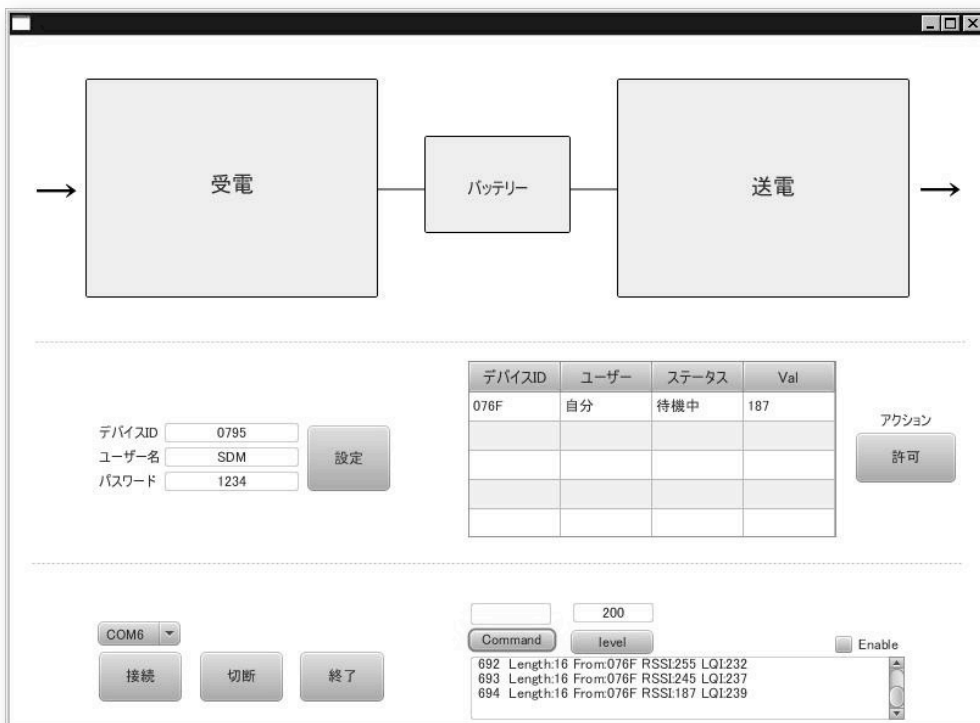


図28: プロトタイプの操作画面

5.2 システムの検証

構築したプロトタイプにおいて、第3章で検討したユースケースそれぞれのオペレーションに対しシステムの検証を行う。

表10: ユースケース1 検証

「ワイヤレス化と充電自動化」オペレーションリスト	結果
機器情報、伝送条件、通信条件などの初期設定を行った	○
バッテリー残量低下時等に近隣をサーチしワイヤレス電源にアクセスした	○
パスワードによる認証後、伝送条件を判断し給電を開始した	○
登録済みのワイヤレス電源からは自動的に給電を開始した	○

表11: ユースケース2 検証

「機器間で電力相互利用」オペレーションリスト	結果
機器情報、伝送条件、通信条件などの初期設定を行った	○
バッテリー残量低下時等に近隣をサーチし他の機器にアクセスした	○
パスワードによる認証後、伝送条件を判断し給電を開始した	○
登録済みの機器からは自動的に給電を開始した	○

表12: ユースケース3 検証

「ユーザー間で電力相互利用」オペレーションリスト	結果
機器情報、伝送条件、通信条件などの初期設定を行った	○
バッテリー残量低下時等に近隣をサーチし他の機器にアクセスした	○
異なるユーザーに対し、給電依頼を送信した	○
ユーザーによる認証後、伝送条件を判断し給電を開始した	○

検証結果は全て良好であり、システムが設計通り動作し目的の機能を達成していることが確認された。

5.3 システムの評価

5.3.1 妥当性の評価

提案したシステムについてユーザーからフィードバックを獲得し、システムの妥当性を評価する。下記の内容でアンケートを行った。

【調査対象】

- 1つ以上のモバイル機器を利用しているモバイルユーザー
- 年齢性別不問

【評価対象】

- 応用例 1: ラクラク充電
- 応用例 2: ワイヤレスバッテリー
- 応用例 3: バッテリーグリッド
- 応用例 4: 優しい電気
- 応用例 5: ソーシャルバッテリー

【設問】

- 興味がある
- 導入メリットがある
- 実際に使用してみたい
- 機会があれば購入したい

【評価尺度】

- 「そう思う」 2点
- 「ややそう思う」 1点
- 「どちらとも」 0点
- 「ややそう思わない」 -1点
- 「そう思わない」 -2点

評価尺度による合計点がプラスであればシステムの評価をポジティブ、マイナスであればネガティブと判断する。有効回答数は18件であった。

表13: 「ラクラク充電」の評価結果

	そう思う	やや思う	どちらとも	やや 思わない	そう 思わない	評価
興味がある	10	5	1	2	0	23
導入メリットがある	11	3	4	0	0	25
実際に使用してみたい	10	4	2	2	0	22
機会があれば購入したい	7	6	3	2	0	18

表14: 「ワイヤレスバッテリー」の評価結果

	そう思う	やや思う	どちらとも	やや 思わない	そう 思わない	評価
興味がある	7	6	3	2	0	18
導入メリットがある	7	3	5	2	1	13
実際に使用してみたい	10	4	3	1	0	23
機会があれば購入したい	5	5	4	3	1	10

表15: 「バッテリーグリッド」の評価結果

	そう思う	やや思う	どちらとも	やや 思わない	そう 思わない	評価
興味がある	6	7	3	2	0	17
導入メリットがある	7	5	5	1	0	18
実際に使用してみたい	8	4	4	2	0	18
機会があれば購入したい	4	5	6	2	1	9

表16: 「優しい電気」の評価結果

	そう思う	やや思う	どちらとも	やや 思わない	そう 思わない	評価
興味がある	9	6	3	0	0	24
導入メリットがある	11	4	2	1	0	25
実際に使用してみたい	12	3	2	1	0	26
機会があれば購入したい	5	7	4	2	0	15

表17: 「ソーシャルバッテリー」の評価結果

	そう思う	やや思う	どちらとも	やや 思わない	そう 思わない	評価
興味がある	6	7	2	2	1	15
導入メリットがある	4	4	5	3	2	5
実際に使用してみたい	6	3	6	2	1	11
機会があれば購入したい	1	3	8	4	2	-3

表18: 評価結果の比較

	興味がある	導入メリットがある	実際に使用してみたい	機会があれば購入したい
ラクラク充電	23	25	22	18
ワイヤレスバッテリー	18	13	23	10
バッテリーグリッド	17	18	18	9
優しい電気	24	25	26	15
ソーシャルバッテリー	15	5	11	-3

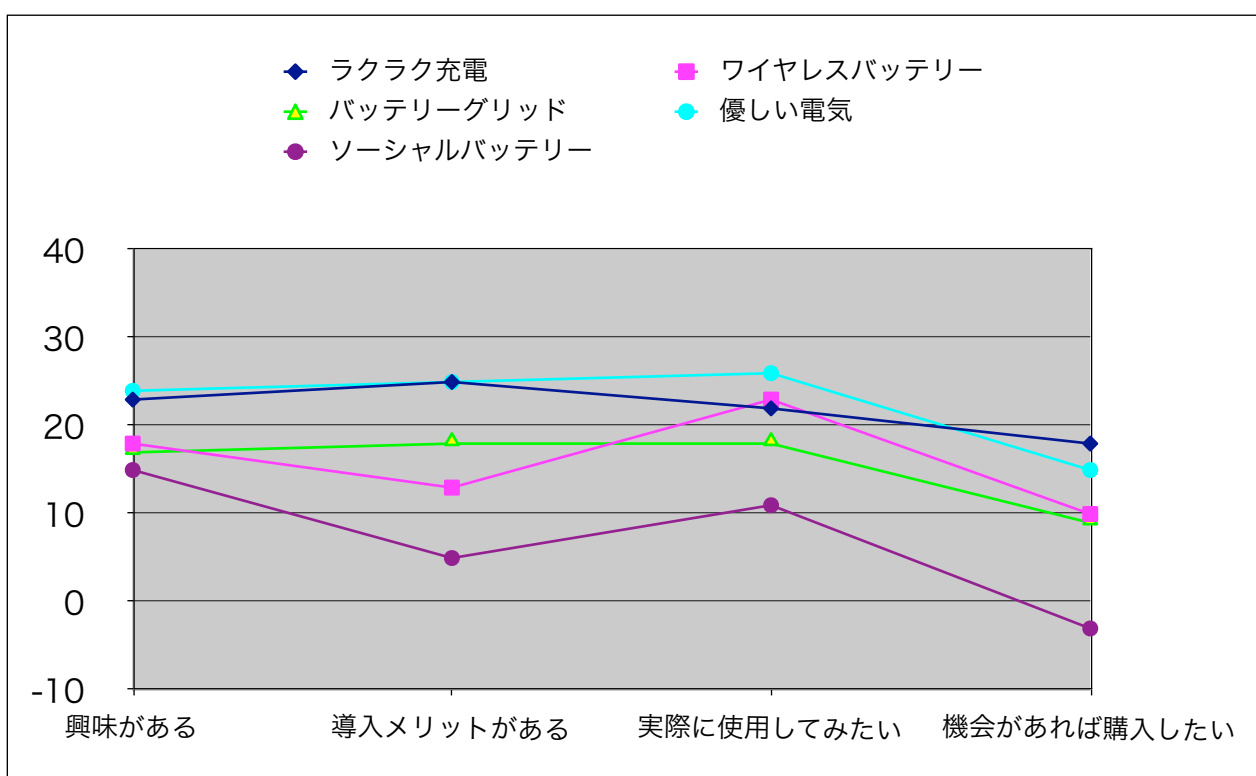


図29: 評価結果の比較

結果、全ての応用例において「興味がある」、「実際に使用してみたい」とポジティブな評価が得られた。特に「ラクラク充電」と「優しい電気」に対しては「導入メリットがある」という点で高い評価が得られている。「機会があれば購入したい」の問いについては全般的にネガティブな評価ではないものの費用負担を伴う導入については控えめな結果となった。システムの改善と共により具体的な使用感を得られるプロトタイプを提示し、さらなる評価の上昇に繋げて行く必要がある。

5.3.2 利用コストの評価

システム導入により得られるメリットに対し、ユーザーはどの程度の料金を支払う可能性があるか、その規模感を得るためにアンケートを行った。

【調査対象】

- ・ 1つ以上のモバイル機器を利用しているモバイルユーザー
- ・ 年齢性別不問

【評価対象】

- ・ 応用例 1: ラクラク充電
- ・ 応用例 2: ワイヤレスバッテリー
- ・ 応用例 3: バッテリーグリッド
- ・ 応用例 4: 優しい電気
- ・ 応用例 5: ソーシャルバッテリー

【設問】

システムを使うために支払ってもいいと思う月額費用(円)

表19: システム利用に対する月額費用の規模

	合計金額	一人平均	応用例1との比
ラクラク充電	14,554円	2,426円	-
ワイヤレスバッテリー	42,883円	7,147円	2.9
バッテリーグリッド	36,363円	6,060円	2.5
優しい電気	21,971円	3,662円	1.5
ソーシャルバッテリー	20,404円	3,401円	1.4

システム応用例ごとに回答金額を合計し、それぞれ一人当たりの平均支払金額を算出した。有効回答数は6件であった。

システムに対する支払い金額としては一人当たり月額2,000円～7,000円程度で、およそ現在の通信費用に対する規模感に近いと言える。なお、現在通信各社が提供する4G-LTEによる通信サービスでは、定額料金として月額5,000円台が中心となっており、例えばスマートフォンのサービス等で、“通信と電力”をいつでもどこでも気軽に利用できるプランを10,000円程度で実現させるとユーザーの検討対象になり得るのではないかと推測される。

第 6 章 結論

6.1 まとめ

本研究では、モバイルユーザーの不満や煩わしさの解消を目指し、電力利用に関する利便性を高めるための新たな電力供給システムをデザインした。

始めに、モバイル環境での電力利用に関して現在生じている問題やモバイルユーザーがどのように電力を取得しているかについてまとめ、ワイヤレス化、充電自動化、給電機会増加の3つを問題解決の鍵としてソリューションシナリオを構築し、これをワイヤレス給電システムとして定義した。次に、システムのユースケースの検討から、システムの基本構成およびファンクションをまとめ、磁界共鳴方式による電力伝送モジュール、ZigBee方式によるワイヤレス通信モジュールなど必要となるハードウェアを構成した。また、システム全体を俯瞰し、システムの目的やニーズ、実現のための物理構造など総合的にシステムの構成要素をまとめバリュー分析を行うことで、ニーズを満たすためにはシステムとしてユーザーの利便性を高めることが最も重要なポイントであるとの結果を得た。

デザインされたシステムのプロトタイプを構築し、コンセプトを具現化すると共にシステムの動作検証を行い機能の実現を確認した。さらに具体的なシステムの応用例を挙げてワイヤレス給電システムとして提案し、ユーザーからフィードバックを獲得することでそのシステムの妥当性を評価した。その結果、導入メリットがあり実際に使用してみたいなどポジティブな評価が得られた。システムに対する支払い金額としては一人当たり月額2,000円～7,000円程度との評価を得た。この規模感にマッチするようなシステムのデザインとサービスの構築を行うことが一つの目標と言える。

また、本研究によりデザインされたワイヤレス給電システムによって、ワイヤレス給電技術を単純な電力供給手段としてだけでなく、機器間での給電さらにユーザー間の電力相互利用へと拡張することで、利便性の向上と共に電力利用における新たな価値の創造が期待できる。

6.2 今後の課題

本研究のプロトタイプでは構築できなかった磁界共鳴方式でのワイヤレス給電モジュールを実装し、スタブモジュールとの換装を行うことで実際にワイヤレスでの電力伝送を行い、より目的のシステムに近い形で実証実験を行う必要がある。給電効率やバッテリーの特性などを踏まえ、工学的なシミュレーションや評価実験を行うことも重要である。また、ユーザーより得られたフィードバックを反映させ、よりユーザーニーズに沿うようにシステムデザインをブラッシュアップする必要がある。システム導入のメリットを肌で感じられるようなプロトタイプを構築することも重要なポイントである。これらを繰り返し行うことで具体的な製品やサービスおよびビジネスモデルの検討へと発展していくことを期待する。

6.3 おわりに

モバイル機器を利用するユーザーの一人として日々感じている不満や煩わしさやをきっかけに、モバイル電力をより便利に利用できる社会の実現を目指してワイヤレス給電システムのデザインを行った。今後、ワイヤレス給電技術が発展・実用化され、多くの製品及びサービスが登場し素晴らしい社会が実現する可能性がある。本研究がその一助になれば幸いである。

謝辞

本修士論文の執筆にあたり、指導教員として終始適確なご助言を賜り丁寧にご指導頂いた慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科佐々木正一教授に心より感謝申し上げます。同様に、西山敏樹特任准教授にも、ご自身の経験談を交えながら構成の導き方や問題の分析手法など細部にわたるご指導を頂き心より感謝申し上げます。また、本論文の提出にあたりご助言、ご指導頂いた前野隆司教授、春山真一郎教授に深く感謝致します。

最後に、常にサポートしてくれた家族とSDM研究科の友人達に心から厚く感謝を申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- (1) Marin Soljacic : Wireless Non-radiative Power Transfer, MIT, November 2006.
- (2) André Kurs, Aristeidis Karalis, Robert Moffatt, J. D. Joannopoulos, Peter Fisher, and M.Soljacic : Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances, Science Vol. 317, no. 5834, pp. 83 - 86, June 2007.
- (3) Andre Kurs : Power Transfer Through Strongly Coupled Resonances, MIT, September 2007.
- (3) 総務省 電波政策懇談会 : 電波新産業創出戦略~電波政策懇談会報告書~, July 2009
- (4) 川原圭博 : 電源コードをなくす ~無線電力伝送とエネルギーハーベスティング~, 情報処理学会, Vol.52, No.1, pp.56-57, January 2011.
- (5) 居村岳広、堀 洋一 : 電磁界共振結合による伝送技術、電気学会誌、Vol.129, No.7, pp.414-417、2009.
- (6) 澤上佳希、宮坂拓也、川原圭博、浅見 徹 : 磁界共振結合式マルチホップ無線電力伝送方式の解析と評価、DICOMO 2010, pp.1844-1850、2010.
- (7) 居村岳広、内田利之、堀洋一 : “非接触電力伝送における電磁誘導と電磁界結合の統一的解釈” 電気学会自動車研究会資料、VT-09, no.1-9, pp.35-40、January 2009.
- (8) 藤原栄一郎 : マイクロ波による伝送技術、電気学会誌、vol.129, no.7, pp.418-421、2009.
- (9) 篠原真毅 : 宇宙太陽発電所 SPS からの無線電力伝送技術、電気学会誌、vol.129, no. 7, pp.426-429、2009.
- (10) 篠原真毅、松本紘、三谷友彦、柴田裕紀、安達龍彦、岡田寛、冨田和宏、篠田健司 : 無線電力空間の基礎研究、信学技報、pp.47-53、March 2004.
- (11) Wireless Power Consortium, “Wireless Power Consortium”
<http://www.wirelesspowerconsortium.com/>
- (12) 庄木裕樹 : ワイヤレス電力伝送の技術動向・課題と実用化に向けた取り組み、信学技報、pp.19-24、July 2010.
- (13) 石井浩介、飯野謙次 : 設計の科学 価値づくり設計、養賢堂、2008.