

戦略的基盤技術高度化支援事業

「共鳴方式電界結合型無線電力伝送用
組込みソフトウェアプラットフォームの開発」

研究開発成果等報告書

平成 25 年 2 月

委託者 九州経済産業局

委託先 財団法人九州先端科学技術研究所

目次

第1章	研究開発の概要	1
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-1-1	背景	1
1-1-2	目的	1
1-1-3	目標	1
1-2	研究体制	4
1-3	成果概要	5
1-4	該当研究開発の連絡窓口	15
第2章	本論	16
2-1	序論	16
2-1-1	はじめに	16
2-1-2	目的	17
2-2	無線電力供給方式	19
2-2-1	電磁誘導方式	19
2-2-2	共鳴方式	23
2-2-3	電界結合方式	24
2-3	デバイス構想	25
2-4	共振無線電力伝送安定化技術の開発	26
2-4-1	理論	27
2-4-2	製作・測定	34
2-5	測定	31
2-5-1	パネル消費電力測定	31
2-5-2	検出回路	33
2-5-3	周波数特性	39
2-6	共振制御および異常検知ファームウェア実装試作	39
2-6-1	通信機能	39
2-6-2	共振周波数探索機能	40
2-6-3	周波数追従機能	43
2-6-4	入力電圧制御方式の変更	44
2-7	共鳴方式無線電力伝送システム用アプリケーションソフトウェア	45
2-7-1	動作環境及び開発環境	46
2-7-2	名札アプリケーション	46
2-7-3	札アプリ操作手順	53
2-7-4	デスクトップキャプチャアプリケーション	58
2-7-5	デスクトップキャプチャ操作手順	59

2-8	ソフトウェアプラットフォーム開発.....	61
2-8-1	今年度の取り組みの目的と背景.....	61
2-8-2	MetaEdit+によるモデリング開発実践.....	61
2-8-3	4インチパネル制御ソフトウェアドライバのモデル作製.....	63
2-8-4	C言語コードジェネレータ定義、コード生成.....	64
2-8-5	4インチパネルドライバのモデルベースの6インチパネル作成.....	68
2-8-6	モデル駆動開発効率の分析.....	70
第3章	全体総括.....	73
3-1	共振周波数特性.....	73
3-2	共振制御アルゴリズム開発とファームウェア.....	73
3-3	近接検知・異常検知方式の確立および状態制御方式の確立とファームウェア.....	74
3-4	多様な機器に対応できる制御ソフトウェアプラットフォーム.....	74
3-5	今後の課題と事業化展開.....	74

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 背景

近年のユビキタス・ネットワーク社会の拡大により、私たちのまわりの生活が非常に便利になっている。そして、ユビキタス・ネットワーク社会において理想とされるユーザインターフェースの1つとして、電子ペーパーが挙げられる。電子ペーパーのデバイスとしての最終目標は、「薄さ」、「軽さ」、「扱いやすさ」、「低コスト」、「フレキシブル性」といった紙の持つ特徴を持ちつつ、実用化が進んでいる各種ディスプレイのように「高い表示品質」を保ち、さらに「低消費電力」でコンピュータと繋がり表示内容を変えることができることである。その最終目標が達成されれば、万人がその便利さを認めるであろうが、電子ペーパーデバイスには、まだまだ多くの課題が残っている。

まず、コストの問題がある。これは端末に電子ペーパーのディスプレイだけでなく、バッテリーやメモリーなども装備しているため、製造コストがかかるためだと考えられる。次に、ポータビリティの問題がある。現状の電子ペーパー端末では、バッテリーやメモリーなどが邪魔になりフレキシブル性も失われてポータビリティ性が低くなっている。これらの要請にこたえるために我々は、電子ペーパー端末にはディスプレイと通信機能だけを残し、電源、メモリー、CPU、ハードディスクなどのハードウェアを取り去ることを目指している。また、表示に係る電力は不要であるため、電子ペーパーへ表示するデータの通信に係る電力を無線電力送信で供給できれば、端末はバッテリーすら不要になり、電子ペーパーデバイスの最終目標である薄型／軽量化を達成できる。

1-1-2 目的

現在、携帯機器では無接点で効率的な充電方法が求められている。さらに、電子書籍などに使われている電子ペーパーでバッテリーを除くことができるならば、薄型／軽量化に大きく貢献できる。その有力な方法として電界結合型共鳴現象による無線電力伝送が考えられる。本提案では、低コストで高効率、安全で便利、そして多様な機器に対応した無線電力伝送の組み込み制御ソフトウェアプラットフォームを開発し事業化を図る。

1-1-3 目標

前述の課題を解決するために電界結合方式を採用し、下記の【1】から【3】の研究開発を実施する。

具体的には、組み込みソフトによる伝送電力効率を最大にする共振制御、感電や故障・誤動作などを未然に防止する近接検知・異状検知による状態監視、また作製・実装コストを大幅に低減させるための開発プラットフォーム作成である。

【1】 高効率電力伝送（共振制御、外乱対応）

サブテーマ① 共振方式電界結合電力伝送の高効率化に関する研究

実環境における共振方式電界結合電力伝送のメカニズムを明らかにするために下記の研究を行う。

①電極配置・形状・材料が伝送効率に与える影響の解明

②周囲環境変化が電界分布／効率に与える影響の解明

以上を次の共振制御アルゴリズムへ反映する。

サブテーマ② 共振制御アルゴリズム開発とファームウェア実装

外乱による環境条件が変化する場合でも共振状態を維持するために「高速制御の実現」と「受電状態検知」機能をファームウェアに実装する。

① 高速制御の実現（追従時間：250 ミリ秒以内）

② 受電状態検知（検知時間：250 ミリ秒以内）

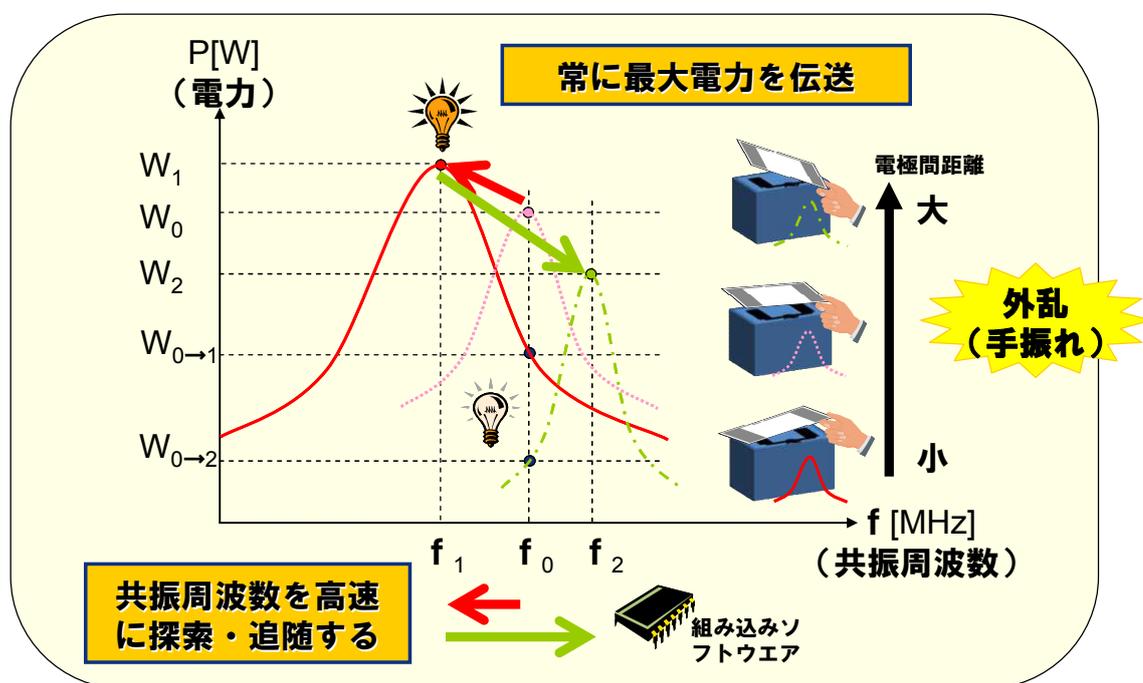


図 1-1 電力伝送の高効率化を達成するための共振制御アルゴリズム

【2】信頼性・安全性の向上

サブテーマ③ 近接検知・異常検知方式の確立および状態制御方式の確立とファームウェア実装

下記アルゴリズムを作成し、異物探知による動作停止を100%保証する。

① 近接検知信号及び異常検知信号を監視し、状態制御アルゴリズム。

② 2次側近接検知機能（ID認識）、2次側離脱検知機能、金属検知機能（異物探知機能）、過電流・異常温度による動作停止機能（温度検知機能）を実現するアルゴリズム。

【3】制御ファームウェアの生産効率向上

サブテーマ④ 多様な機器に対応できる制御ソフトウェアプラットフォーム開発

機器ごとの専用制御ファームウェアの開発工数を大幅に削減するために以下の研究開発を行う。

- ① 共振制御アルゴリズムにおいて共通化できる機能を抽出
- ② 共通プラットフォームを用いた制御ファームウェア作成

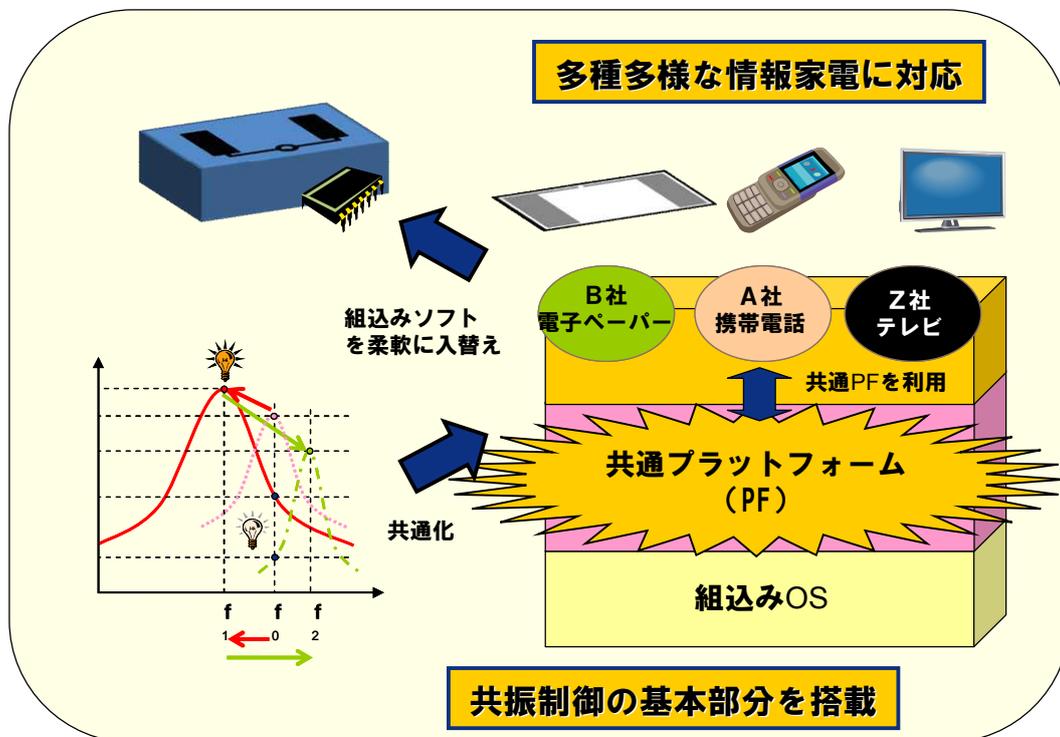
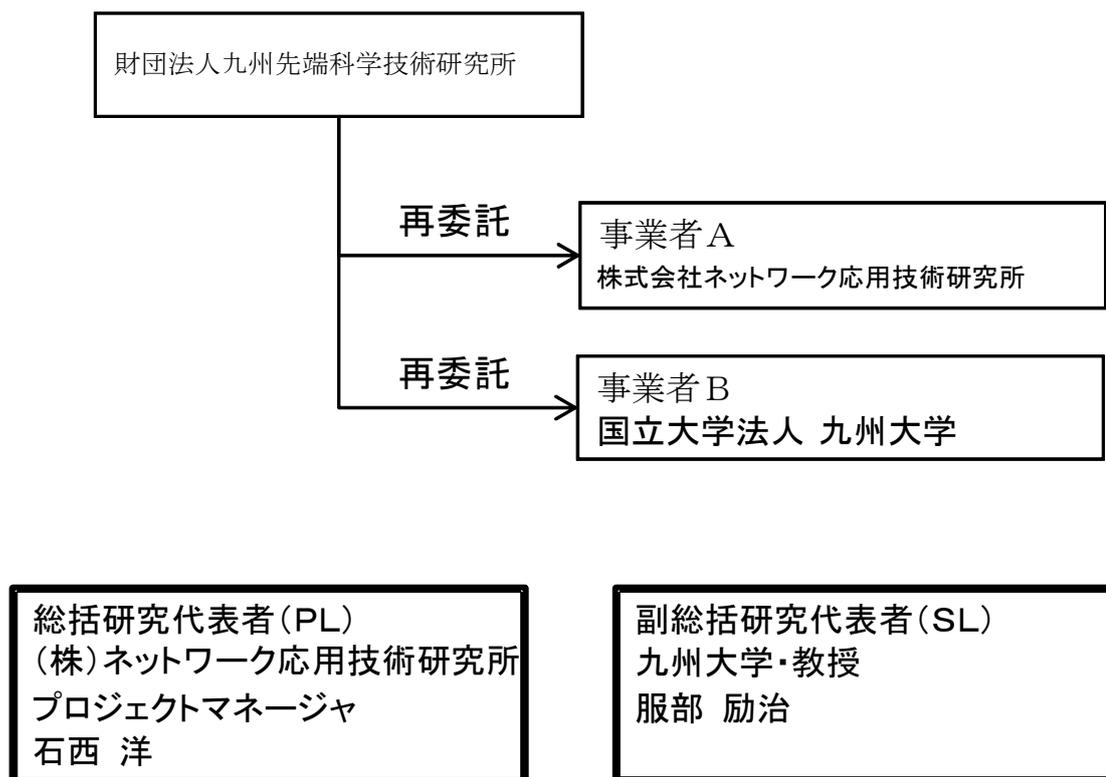


図 1-2 共通プラットフォームによる開発

以上【1】～【3】の目標を達成評価用に電界結合無線電力伝送評価モジュールを試作し各項目について評価する。また、評価モジュールを組み込んだ応用製品について製品試作およびデモシステムを構築する。

1-2 研究体制



1-3 成果概要

サブテーマ① 共振方式電界結合電力伝送の高効率化に関する研究

担当：九州大学、ネットワーク応用技術研究所(NAL)

共振方式電界結合電力伝送方式について、電力伝送効率を高効率化する上で必須の共振周波数特性に関する研究を行った。

H22 年度に電極配置・形状による影響解明について研究を実施し、本電力伝送方式の妥当性検証の位置づけでプロトタイプ用評価ボード製作を完了した。この評価ボードで用いている電極配置・形状は、3次元電磁界シミュレータ（有限要素法磁場解析装置）を用いて設計している。

また、H23 年度では H22 年度評価ボードを改良しての回路安定化、電力伝送の高効率化に向けて回路見直しを図った。本見直し回路（ブラック）版ボードを用いて、電子ペーパー一体型評価ボード試作し共振方式電界結合電力伝送方式による電子ペーパー駆動を達成している。このことにより、本評価ボードの小型化、薄型化を達成した。

以上の成果を元に H23～24 年度は、さらに利用者の使い勝手や操作性などを考慮し、より製品版に近い形を意識した小型・薄型化を行った。この小型・薄型化については、一次側、二次側両ユニットに対して実施した。

一次側ユニットにおいては、二次側ユニットの小型化（電極面積の縮小を伴う）を達成した場合でも、十分な電力を発生させるために必要な高効率電力伝送を目指した電極配置・形状の研究開発を継続して実施した。また送電パワー U_p について、入力電力 U_p に関する回路の研究・開発や二次側ユニットを含めた高効率伝送を可能とする高効率回路の設計・開発を進め、さらには、出力電力強化に起因する熱対策に関する研究・開発などを実施した。

二次側ユニットにおいては、電子ペーパー表示面積と同等の大きさへユニット面積を変更するため、一次側と同様に電極配置・形状に関する研究を継続した。

また、電子ペーパーの表示方式についても、より低消費電力の書き換えが可能かを研究・開発した。

前述の研究・開発の達成結果として、電力伝送システムについては、ハードウェア的に製品版に近い小型・薄型化と高効率伝送を可能とするハードウェアを試作（図 1-3 参照）した。

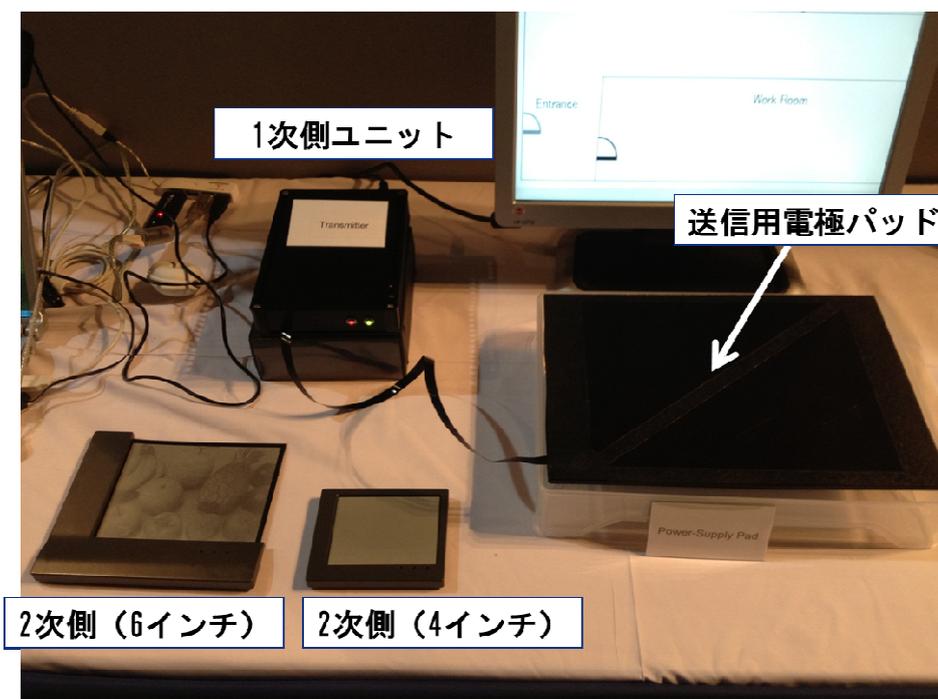


図 1-3 共鳴方式無線電力伝送システムハード試作

本サブテーマの実施項目、内容、成果について表 1-1 にまとめる。

表 1-1 サブテーマ①（共振周波数特性研究）の実施内容と成果

項目	内容	成果
電極配置・形状による高効率伝送の研究	電極配置や形状との関係性を研究する。これまでと同様に、※1 3次元電磁界シミュレータ（有限要素法磁場解析装置）および※2 プリント基板加工システムを用いて、製品版ハード試作を念頭により高効率伝送を可能とする配置、形状を追求する。	3次元電磁界シミュレータおよびプリント基板加工システムを用いて、独自の電極形状、配置を研究開発し、通常電極より高効率かつ設置自由度が高い電極の開発に成功した（図 1-4 参照）。また本電極に関する特許を申請した。
共鳴方式無線電力伝送システムハード試作	H23 年度製作した電子ペーパー一体型評価ボードを更に使い勝手や操作性を重要視し、製品を強く意識したハードウェア試作を行うため、さらなる小型・薄型化、高送電能力化、耐圧・耐熱部品の選定、出力 U_p 、効率 U_p のための高効率回路化などの仕様検討を行い、共鳴方式無線電力伝送システムハード試作を製作し、評価する。	1次側については、小型化、高送電能力化、耐圧・耐熱部品の選定、出力 U_p 、効率 U_p のための高効率回路化などを研究・開発し、ハード試作を実現した（図 1-5）。また、2次側についても薄型化、操作性を重要視した 4 インチ、6 インチのハード試作を達成した（図 1-6）。また、本ハード試作品を出展し、多数ユーザーに評価頂くと共に、事業化への布石を打った。

※1 3次元電磁界シミュレータ（有限要素法磁場解析装置）

電力供給装置の電場特性や外部環境にどのような影響を及ぼすか電極をサンプル作成し、配置を微妙に変化させながら、繰り返し評価する装置

※2 プリント基板加工システム

電力供給効率を最適化するための装置であり、プリント基板を加工したサンプル電極を作成し、その評価結果から最適な形状を導出する



図 1-4 開発電極



一次（送電）側ユニット

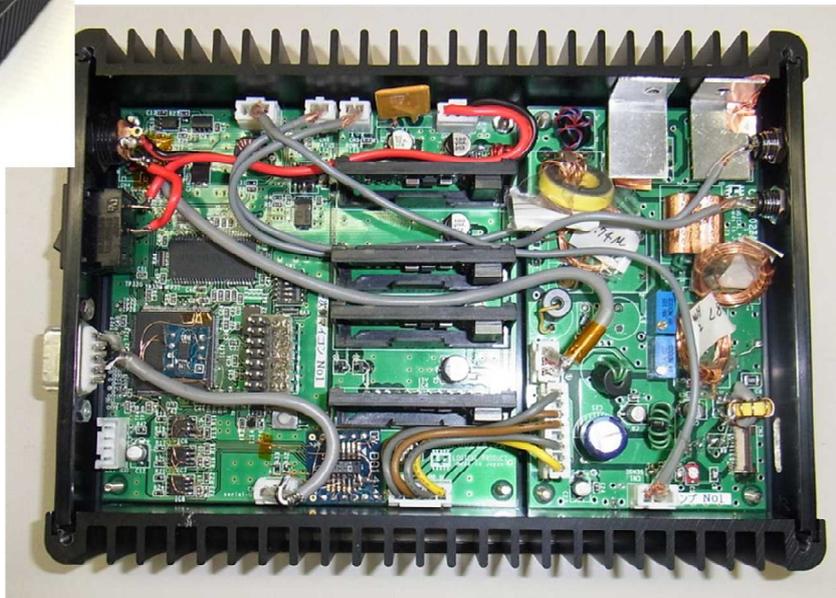


図 1-5 試作ハード（1次側）

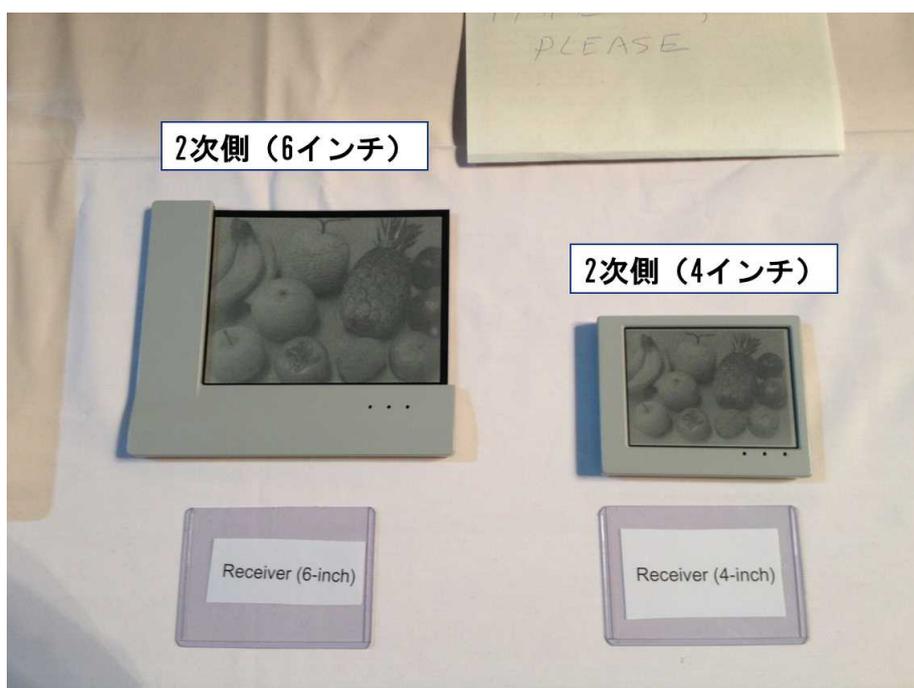


図 1-6 試作ハード (2次側)

サブテーマ② 共振制御アルゴリズム開発とファームウェア実装

担当：九州大学、ネットワーク応用技術研究所(NAL)

共振方式電界結合電力伝送において、最大電力を伝送するための共振制御アルゴリズムを開発し、ファームウェア実装を行った。

H22 年度では、サブテーマ①での研究を元に、回路設計および本回路が持つ特性についてシミュレータを用いて解析を実施した。さらに、本解析結果を元に評価ボードを作成し、本ボード上に共振周波数アルゴリズムをファームウェア実装し、共振周波数探索が可能であることを確認した。

本結果に基づいて、H23 年度では、図 1-1 に見られるような外乱（手振れなど外的要因）が発生した場合においても高効率電力伝送を実現できるように、共振周波数を高速に追従する制御アルゴリズムの開発、ファームウェアの作成、およびシミュレーション評価を行った。また、H22 年度作成した評価ボードに加えてサブテーマ①で作成した電子ペーパーデバイスが接続された電子ペーパー一体型評価ボード上で実機上の評価を行った。

H23～24 年度は、前記〔サブテーマ①〕共振方式電界結合電力伝送の高効率化に関する研究において述べたとおり、H23 年度に開発した電子ペーパー一体型端末を、より製品版に近い形を意識した小型・薄型化についてハードウェア試作を実施した。

この小型・薄型化においては、二次側ユニットの小型化（電極面積の縮小を伴う）を達成した場合でも、十分な電力を発生させるために必要な高効率電力伝送を目指した電極配置・形状の研究開発や送電パワーUp に向けた入力電力 U_p に関する回路研究・開発、二次側ユニットを含めた高効率伝送を可能とする高効率回路の研究・開発などハードウェア的な改良をサブテーマ①で実施したが、このハードウェア改良により急峻な Q 値に対応するため共振点のずれなど

を現行よりもよりセンシティブかつ正確、高速に認識し、より高速かつきめ細かく共振点の再検索、追隨を図るように共振制御アルゴリズム自体への改良を実施した（図 1-7）。

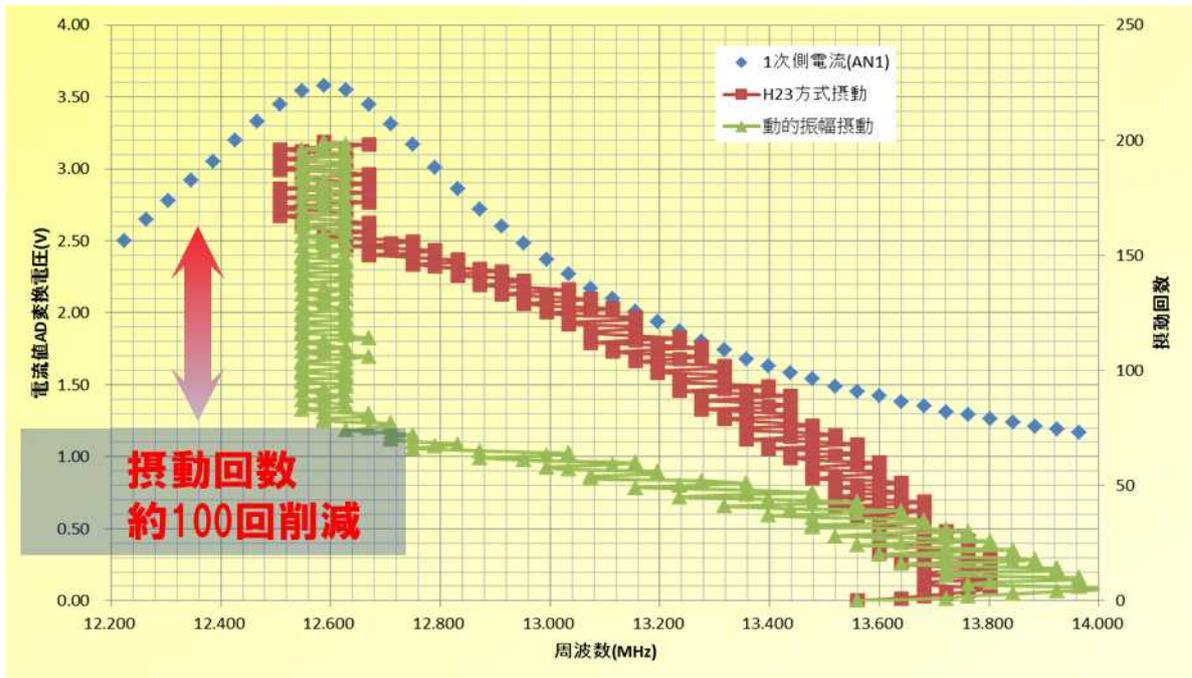
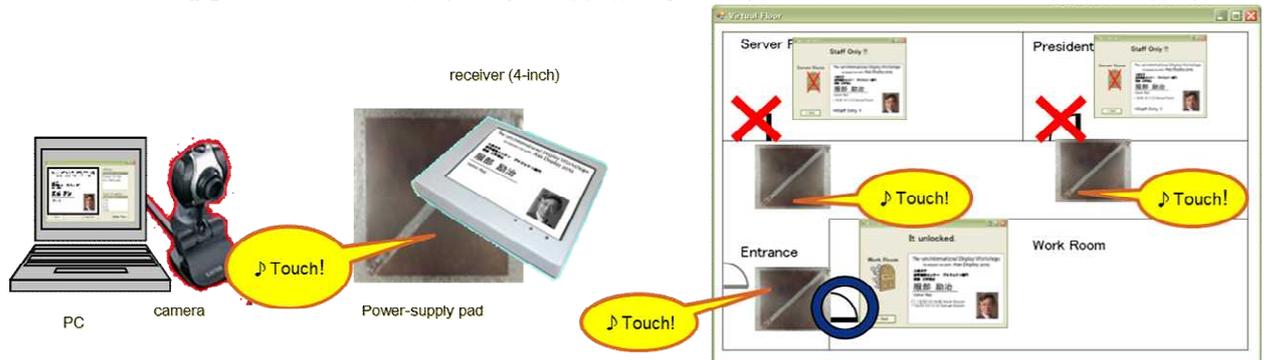


図 1- 7 共振制御アルゴリズムの改良（高速化）

なお、本研究・開発の成果として、本無線電力伝送方式による製品版ハード試作「共鳴方式無線電力伝送システムハード試作」上で動作するよりきめ細かな高速制御を可能とする共振周波数ファームウェアについて、小型・省電力タイプのマイコンへ既存のファームウェアを移植（ポータリング）するとともに、本改良型共振制御アルゴリズムのファームウェア化について、試作「共振周波数制御ソフトウェア小型化改造」を合わせて実施した。

また、本製品版ハード試作の電子ペーパー端末について H23 年度に開発した「共鳴方式無線電力伝送機能付電子ペーパー動作システム」のコンテンツ受信・描画ソフトウェア機能部について、ハードウェア変更にともなうポータリングを試作「共鳴方式無線電力伝送機能付電子ペーパー動作システム改造」として実施し、本動作システムの電子ペーパー専用プリンタドライバ（コンテンツ選択、配信（送信）機能部）を利用するアプリケーションソフトウェアを試作「共鳴方式無線電力伝送システム用アプリケーションソフトウェア開発」（図 1-8 参照）として実施した。

WiPoTシステムを利用した入退室管理システム カメラを使用して入室許可、及び有効期限を設定したオリジナル名刺を作成



WiPoTシステムを利用したディスプレイキャプチャアプリ PC画面の一部を選択し、6インチ電子ペーパーに表示

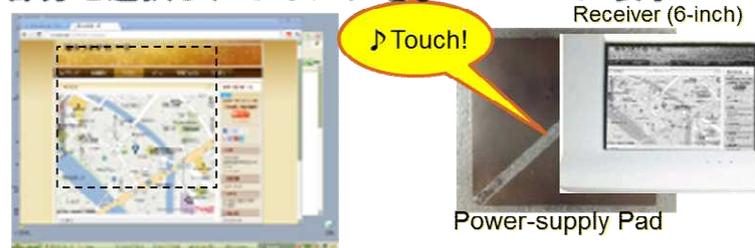


図 1-8 アプリケーションソフトウェア

本サブテーマの実施項目、内容、成果について表 1-2 にまとめる。

表 1-2 サブテーマ②（共振制御アルゴリズム開発とファームウェア実装）の実施内容と成果

大項目	小項目	内容	成果
共振制御アルゴリズム研究	共振制御アルゴリズムの改良	製品版ハード試作版へ向けて共振周波数制御アルゴリズムの改良について研究・開発する。	製品版試作版へ向けてより高速な共振制御アルゴリズムを研究・開発（図 1-7 参照）した。また、本アルゴリズムを試作ハードへ搭載した。さらに、本アルゴリズムについて特許を出願した。

大項目	小項目	内容	成果
共振制御 ファーム ウェア開 発 (共振周 波数制御 ソフト ウェア小 型化改 造)	設計	共振制御アルゴリズムに関して、製品版ハード試作版のファームウェアの開発（基本設計、詳細設計）を行う。	共振制御アルゴリズムに関して、製品版ハード試作版のファームウェアの基本設計と詳細設計を行った。
	製造	共振制御アルゴリズムに関して、製品版ハード試作版のファームウェアの開発（製造、単体試験）を行う。	共振制御アルゴリズムに関して、製品版ハード試作版のファームウェアの仕様を決定し、共振制御ファームウェアを試作した。
	試験	共振制御アルゴリズムに関して、製品版ハード試作版のファームウェアの開発（結合試験、総合試験）を行う。	試作ハードを用いて、共振制御ファームウェアの結合試験、総合試験を実施した。
	評価	共振制御アルゴリズムに関して、製品版ハード試作版のファームウェアの評価を行う。評価については、シミュレーションおよび外注試作した共鳴方式無線電力伝送システムハード試作版を用いる。	製品版ハード試作対応の共振制御アルゴリズムをハード試作ボードに搭載し、展示会に出展し、各種、多数の評価を実施した。
共鳴方式 無線電力 伝送機能 付電子 ペーパー 動作シス テム開発 (共鳴方 式無線電 力伝送機 能付電子 ペーパー 動作シス テム改 造)	仕様検討	製品版ハード試作版の電子ペーパー端末を用いた電子ペーパー動作システムの仕様検討を行う。	電子ペーパー端末を用いた動作システムの仕様検討を行った。
	設計	製品版ハード試作版の電子ペーパー端末の有用性を検証するために、共鳴方式無線電力伝送機能付電子ペーパー動作システムの改良（基本設計、詳細設計）を行う。	製品版ハード試作版の電子ペーパー端末の有用性を検証するために、共鳴方式無線電力伝送機能付電子ペーパー動作システムの基本設計、詳細設計を行った。
	製造、試験	製品版ハード試作版の電子ペーパー端末の有用性を検証するために、共鳴方式無線電力伝送機能付電子ペーパー動作システムの改良（製造、試験）を行う。	製品版ハード試作版の電子ペーパー端末の有用性を検証するために、共鳴方式無線電力伝送機能付電子ペーパー動作システムの製造、試験を行った。
	評価	製品版ハード試作版の電子ペーパー端末の有用性を検証するために、製品版ハード試作向け電子ペーパー動作システムの評価を行う。また、本システムを展示会へ出品し、外部評価をまとめる。	製品版ハード試作向け電子ペーパー動作システムを用いて、展示会に出展し、各種、多数の評価を実施した。

大項目	小項目	内容	成果
共鳴方式無線電力伝送システム用アプリケーションソフトウェア開発	仕様検討	共鳴方式無線電力伝送システム用アプリケーションソフトウェアの仕様検討を行う。	共鳴方式無線電力伝送システム用アプリケーションソフトウェアの仕様検討を行った(図1-8)。
	設計	共鳴方式無線電力伝送システム用アプリケーションソフトウェアの開発(基本設計、詳細設計)を行う。	共鳴方式無線電力伝送システム用アプリケーションソフトウェアの開発(基本設計、詳細設計)を行った。
	製造、試験	共鳴方式無線電力伝送システム用アプリケーションソフトウェアの開発(製造、試験)を行う。	共鳴方式無線電力伝送システム用アプリケーションソフトウェアの開発(製造、試験)を行った。

サブテーマ③ 近接検知・異常検知方式の確立および状態制御方式の確立とファームウェア実装

担当：ネットワーク応用技術研究所(NAL)

共振方式電界結合電力伝送方式を用いての電力伝送を安心・安全に利用することができるように、異物検知を可能とし選択的に電力伝送を行う制御方式の確立およびファームウェア実装を行う。

H22年度では、安心・安全な電力伝送方式の検討を行い、近接検知方式および選択的(必要時のみ)電力送電方式の基礎研究、制御ファームウェアのプロトタイプ開発および開発ファームウェアの評価ボードへの搭載、評価を実施した。評価の結果、複雑なID認識を用いての選択的電力伝送処理を実施しなくても近接検知および1次側の電源制御により安心・安全な電力伝送が可能な事が判明した。

H23年度では、H22年度作成のプロトタイプについて、過電流など異常状態の監視方法の詳細な検討を実施するとともに、回路の改良を施したブラック回路上で異常検知(近接検知)方式によって異物混入時には電力制御機能が非活性となり安全に利用できる事も確認した。

H23~24年度は、前記〔サブテーマ①〕共振方式電界結合電力伝送の高効率化に関する研究において述べたとおり、H23年度に開発した電子ペーパー一体型端末より製品版に近い形を意識した小型・薄型化をハードウェア的に行った。

この小型・薄型化においては、二次側ユニットの小型化(電極面積の縮小を伴う)を達成した場合でも、十分な電力を発生させるために必要な高効率電力伝送を目指した電極配置・形状の研究開発や送電パワーUpに向けた入力電力Upに関する回路研究・開発、二次側ユニットを含めた高効率伝送を可能とする高効率回路の研究・開発などハードウェア的な改良をサブテーマ①で実施した。

このような、高出力化に伴っては、より安全な近接検知、異常検知が必要であるため、安全機構の改良を実施し、小型・省電力タイプのマイコンへ既存のファームウェアを移植(ポーティング)、および前述の異常検知(近接検知)方式のアルゴリズム最適化(改良)を含めて

ファームウェア開発を実施した。

本サブテーマの実施項目、内容、成果について表 1-3 にまとめる。

表 2 サブテーマ③（近接検知・異常検知方式の確立および状態制御方式の確立とファームウェア実装）の実施内容と成果

大項目	小項目	内容	成果
異常（近接）検知方式研究	近接検知アルゴリズムの最適化	製品版ハード試作版へ向けて近接検知アルゴリズムの最適化（改良）について研究・開発する。	製品版ハード試作版の特性を元に、近接検知アルゴリズムの最適化を行った。
近接検知、過電流など異常監視ファームウェア開発	設計	製品版ハード試作版へ向けて近接検知ファームウェアの開発（基本設計、詳細設計）を行う。	製品版ハード試作版へ向けて近接検知ファームウェアの基本設計、詳細設計を行った。
	製造	製品版ハード試作版へ向けて近接検知ファームウェアの開発（製造、単体試験）を行う。	製品版ハード試作版へ向けて近接検知ファームウェアの製造、単体試験を行った。
	試験	製品版ハード試作版へ向けて近接検知ファームウェアの開発（結合試験、総合試験）を行う。	製品版ハード試作版へ向けて近接検知ファームウェアについて試験を行った。
	評価	近接検知アルゴリズムに関して、製品版ハード試作版のファームウェアの評価を行う。評価については、シミュレーションおよび外注試作した共鳴方式無線電力伝送システムハード試作版を用いる。	製品版ハード試作版向けの近接検知ファームウェアを共鳴方式無線電力伝送システムハード試作版へ搭載し、展示会において安心安全について評価を得た（図 1-9）。

電極を触っても安全に動作



図 1-9 近接検知アルゴリズム評価

サブテーマ④ 多様な機器に対応できる制御ソフトウェアプラットフォーム開発

担当：ネットワーク応用技術研究所(NAL)

共振周波数を高速に探索・追従する制御技術を用いた無線電力伝送用ファームウェアの開発効率を上げるために、開発プラットフォームの確立を目指す。

H22 年度では、ソフトウェアプラットフォームの調査・検討を行うとともに、共振制御アルゴリズムファームウェアの開発プラットフォームとして共通化できるための要件定義および基本アーキテクチャを検討した。

H23 年度は、電子ペーパー動作システム（ファームウェアとプリンタドライバ）の開発効率化手法として、モデル開発の適用を検討し、市販の DSM（Domain Specific Modeling）ツールの適用を目指し、システムのフィーチャー分析を実施した。

H23～24 年度は、共鳴方式無線電力伝送方式を用いた各種装置について、将来的な製品開発で必要となるであろう、バリエーション化、シリーズ化の要求に対応可能なプラットフォームのプロトタイプ製作を完成させ、共鳴方式無線電力伝送機能付電子ペーパー動作システム開発の電子ペーパー端末へのコンテンツ受信、描画ファームウェア製作へ適用した。

具体的には、問題領域の分析を行うドメインエンジニアリングプロセスの手法としてのフィーチャ指向アプローチを適用、DSL（Domain Specific Language）を用い、描画電子ペーパーサイズを変えた場合のソフトウェアの資産化や再利用、自動化について検証（図 1-10）した。

従来手法			MDD開発		
開発工程	4インチ版 (ベース)	6インチ対応 コード追加	開発工程	4インチ (ベース)	6インチ対 応
設計			メタモデリング	6	0
製造	15	30	ダイアグラム図作成	5	3
単体試験			コードジェネレータ 作成	5	1
結合試験	3	3	結合試験	3	2
合計	18	33	合計	19	6

図 1- 10 DSL 開発適用結果

本サブテーマの実施項目、内容、成果について表 1-4 にまとめる。

表 1- 3 サブテーマ④（多様な機器に対応できる制御ソフトウェアプラットフォーム）の実施内容

項目	内容	実施者
ソフトウェアプラットフォーム開発（設計）	電子ペーパー動作システム全体に関して効率的にソフトウェアを開発できるプラットフォームを開発（基本設計、詳細設計）する。	ソフトウェアプラットフォームについて基本設計、詳細設計を行った。
ソフトウェアプラットフォーム開発（製造、試験）	電子ペーパー動作システム全体に関して効率的にソフトウェアを開発できるプラットフォームを開発（製造、単体試験）する。	ソフトウェアプラットフォームについて製造、試験を行った。
ソフトウェアプラットフォーム開発（評価）	電子ペーパー動作システム全体に関して効率的にソフトウェアを開発できるプラットフォームを開発（結合試験、総合試験）する。	ソフトウェアプラットフォームを実開発へ適用し、大幅に効率を Up できる事を確認した。

1-4 該当研究開発の連絡窓口

所属 株式会社ネットワーク応用技術研究所 先端ネットワーク研究部
 氏名 石西 洋
 電話 092-473-4020
 FAX 092-473-4022
 E-mail ishinishi@nalab.jp

第2章 本論

2-1 序論

2-1-1 はじめに

電子ディスプレイの発展は、常にそれを必要とする「システム」とともに密接に連動してきた。

まず 1930 年代に、「映像を伝送したい」という願望からテレビシステムが生まれた。初期は白黒の CRT (Cathode-ray tube) テレビだったが、1950 年代には、テレビをカラーで見たいという願望からカラーテレビシステムが開発された。一方でコンピュータシステムの 1 つであるパーソナルコンピュータ (PC: Personal computer) とディスプレイの関わりも非常に深いものである。1980 年代になると PC のグラフィック機能の向上により、よりよい表示装置としてカラーディスプレイ CRT が PC の 1 つとして一挙に机上に進出した。1980 年代後半には気軽に持ち運べる PC としてノート PC が出現し、より薄くよりよい表示品質を求め、単色オレンジプラズマディスプレイ (PDP: Plasma Display Panel) の時代を経て、液晶ディスプレイ (LCD: Liquid Crystal Display) へと世代交代し、現在に至った。かつて電波を使用して無線で音声通信できないかと夢見られていた移動体通信システムである携帯電話もまた然りで、初期は単に番号表示のみの LED であったものが、パッシブ液晶を経過して TFT 液晶付きが当たり前の時代となった。

上記の通り、システムの進化とともにそれを表示する電子ディスプレイも開発され、時代ごとの要求にマッチしてきたのである。近年では様々なシステムにあわせ、ディスプレイも広く枝分かれしている。これまで、TV・ビデオ鑑賞などの環境はずいぶん快適化され、これからもいっそう快適化が期待されている一方で、電子文書を読む環境は、細かな文字を長時間見つめるために目が痛くなるなどの不満が目立つ現状である。

このような中で、近年、電子ペーパーという今までのものとは少し変わったディスプレイが現れた。電子ペーパーは、薄く・軽く・見やすく・疲れにくいといった紙の長所と、容易に情報を何度も表示ができ、デジタル情報との接続も容易であるといったディスプレイの長所を両立させようというコンセプトで作られたディスプレイである。電子ペーパーにも様々な種類があるが、その 1 つである電子粉流体ディスプレイ (QR-LPD™: Quick-Response Liquid-Power Display) は次のような特徴を持っている。

- ① 1 ピクセルあたり 0.2msec 以下の高速応答性
- ② きれいなペーパーホワイトと高反射率・広視野角性・高コントラスト
- ③ 書き換え以外に電力を消費しない双安定性
- ④ 単純な構造により薄く安価である

まず、QR-LPD™ は非常に早い高速応答性を持ち、これによって利用者にストレスの無いように高速で画像の書き換えを行うことができる。また、その白色は非常に紙の白色に近く、高い反射率や広い視野角特性をもつ点なども非常に紙に近いものとなっている。さらに、QR-LPD™ は、画像の保持を電力の消費を行わず 1 年以上保持することができる。つまり、画像の書き換え以外には電力を消費しないので、低消費電力で使用することができる。そして、駆動に TFT を使用しないパッシブマトリックス駆動を採用しているために、TFT を用いるアクティブマトリックス駆動のパネルに比べ安価かつ薄く製造することができる。最後に、外光の反射により表示を読み取る反射型のディスプレイである QR-LPD™ は、LCD などと異なりバックライトを必要としない。これはバックライトの電力を消費しない分 LCD に比べると低消費電力でもあるし、バックライトを使わない分薄くすることもでき、バックライト分を安く作ることができる。また反射型では光を直接見ることが無いので、目への負担が軽減されると言われている。このように QR-LPD™ は電子ペーパーとして理想的な特徴を持ったものの 1 つである。

ところで、2006 年以前より「ユビキタス」という言葉が盛んに使われてきた。ユビキタスという言葉はバズワードとして使われているものの、ユビキタス社会といえ、一般的に、特に意識することなく人々がなにかしらの恩恵を受けられることを言う。ユビキタス社会における「システム」の中で、ディスプレイはコンピュータと人をつなぐインターフェースの 1 つとして重視されているが、その他にユビキタス社会において期待される物の 1 つとして無線電力供給が挙げられる。

無線電力供給は、20 世紀初頭にニコラ・テスラが構想した交流電力を無線で世界中に送ろうというものが発端であるが、その後ごく最近に至るまで殆ど研究が行われていなかった。有名な研究としては、まず、1968 年にアメリカで提唱された宇宙太陽光発電 (SPS:Solar Power Satellite) がある。衛星軌道上で太陽光発電を行い、マイクロ波等で地上の受信施設に送るのであるが、地上で発電する場合に比べ効率が非常に高い。日本でも現在に至るまで研究が行われており、将来的な実用化も視野に入っている。次に、MIT (Massachusetts Institute of Technology) のグループが発表した磁気共鳴方式での伝送実験が挙げられる。詳しくは 2-2 節で後述するが、この発表は従来方式における研究にも火をつけ、近年では無線電力供給に関する研究が非常に活性化されている。

無線電力供給での利便性向上の例として、その最も分かりやすい例は掃除機である。移動しながら使う物でありながら、常に電源にプラグを接続する必要があり、非常に使いづらい。近年では充電電池を搭載する物もあるが、必要以上の重さになったり、逐一充電する必要があったりする。もし、家に理想的な無線電力供給システムがあれば、このようなことはなくなる。これは最たる例ではあるが、その他にも様々な電子機器類が、電力供給を意識することなく利用できるようになる。

2-1-2 目的

今まで、様々な電子書籍を読める端末が国内外で発売されている。国内メーカーでは、シャープ社から Galapagos が、ソニー社から Reader が発売され、また、それ以前より国外メーカーでは、Apple 社より iPad が、Amazon.com 社から Kindle が発売されている。Galapagos と iPad は液晶ディスプレイを、Reader と Kindle は電子ペーパーを使った端末であり、それぞれのディスプレイを使った端末に他方に対する優位性がある。液晶ディスプレイは動画表示やフルカラー表示が可能であり、電子ペーパーディスプレイはディスプレイパネルが軽く、消費電

力も低く、そして、まるで紙を見ているかのように思える表示が可能である。

電子書籍端末として広がりつつある電子ペーパーディスプレイであるが、電子書籍において、その長所が十分に生かしきれていない。電子ペーパーは、パネル自体が、軽く、フレキシブルであるものの、電子ペーパーを搭載した端末になると、それなりに重く、ハードな物になっているからだ。確かに、電子書籍端末は電子ペーパーを使った 1 つの在り方である。その見易さは、他のディスプレイでは決して出来ないものだ。しかし、より電子ペーパーの特徴を生かしたデバイスを作ることで、その利用範囲は一層広まるのではないかと考えた。

そこで、電子ペーパーの特長を生かし、かつ従来の端末との差別化を図る方法として、次のようなことを考えた(図 2-1-1)。まず、機能をシンプルに、表示のみに特化し、搭載部品やバッテリーを可能な限り削減することで、薄型化と軽量化を図る。I/O ポートを無くし、薄型化を目指し、かつ、より扱いやすいデバイスを目指す。バッテリーや I/O ポートを無くした代わりに、必要電力と画像データはワイヤレスで必要時に供給をおこなう。バッテリーを持たせることなく、必要時のみに供給するこの方法は、電子ペーパーが双安定性という特徴を持つからこそできる方法である。

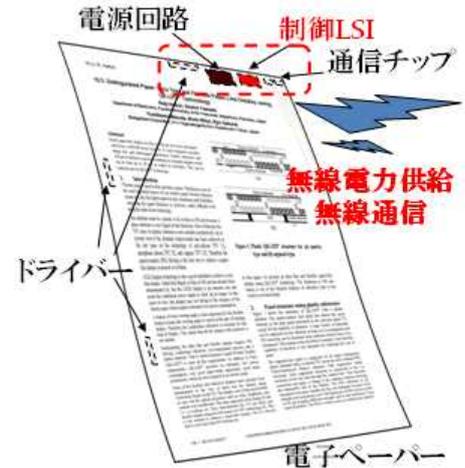


図 2-1-1 開発最終目標

このデバイスの利用方法は、供給端末(例えば PC)にかざす事で、供給端末から必要電力と画像データの供給を受け、画像データを表示するだけという非常にシンプルな物である。しかしながら、仮にそのようなデバイスができたとしても、その利用法は従来の端末に比べて大きく広がる。例えば、バッテリーやコントロールボタン、メモリや I/O ポートをもったファイルのような物を作れば、このデバイスをファイリングして、本のように使うことができる。場合によっては必要ページを切り離して利用することも出来る。他にも、デバイスを広告などのポスターとして、そのまま貼り付けて利用する方法や、究極的には、インクの要らないプリンターとなりうるかもしれない。

この方針に従い、昨年試作端末を作り上げた(図 2-1-2)。このデバイスの中核となる技術は無線通信と無線給電システムであるため、その 2 つを搭載したものとなっている。無線通信システムとしては、近年多くの PC や携帯端末に採用されている Bluetooth を採用し、無線給電システムとしては、電磁誘導方式無線電力供給システムである EPSON 社の Airtrans. を採用した。実際に駆動させることもできたものの、より大きなディスプレイを動かすためには供給能力が十分とは言えず、また、より電子ペーパーディスプレイにフィッティングしたシステムを考えるために、今回、新しい給電システムを作ろうと考えた。



2-1-2 試作端末

2-2 無線電力供給方式

2-2-1 電磁誘導方式

2-2-1-1 基本原理概要

無線電力供給システムには様々な方法があるが、まず初めに、現在最も広く普及している方式である、電磁誘導方式の無線電力供給方法について説明する。

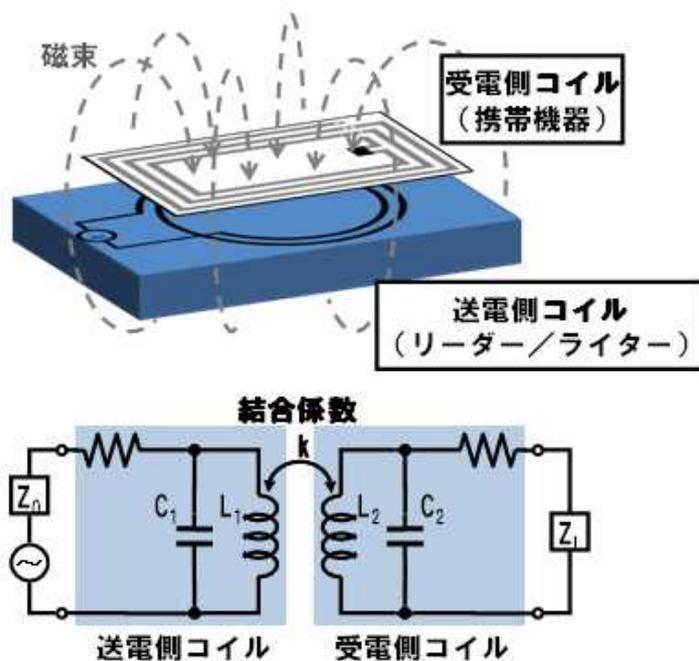


図 2-2-1 電磁誘導方式概念図

図 2-2-1 は、電磁誘導方式の概念図である。電磁誘導方式の原理は、ファラデーの電磁誘導の法則を利用した、極めて単純な方式である。送電側は、送電側アンテナコイルに交流電流を流すことで、アンテナコイルから時間変化する磁束 $\phi(t)$ が出る。受電側は、送電側アンテナコイルに受電側アンテナコイルを重ねることで、時間変化する磁束を受信することができ、電磁誘導側により次の起電力 V が発生する。なお、 N は受電側アンテナコイルの巻き数である。

$$V = -N \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (2.1)$$

これが電磁誘導方式の原理である。

電磁誘導方式では、その効率の指標として、結合の度合いを表す結合係数 k と共振の度合いを表す Q 係数が用いられる。電磁誘導方式で理想的な電力供給は、送電側アンテナコイルに流した電力が全て受電側アンテナコイルに送られることである。しかし、実際にはその一部は、漏れ磁束として供給されることがなかったり、導体損失や遠方への放出による損失が起こったりする。この内前者の指標が結合係数 k 、後者の指標が Q 係数となっている。

2-2-1-2 結合係数 k

2つのコイルが相対してある場合、コイルに鎖交する磁束には自身の電流によって作られた

ものと、もう片方のコイルの電流によって作られた物がある。

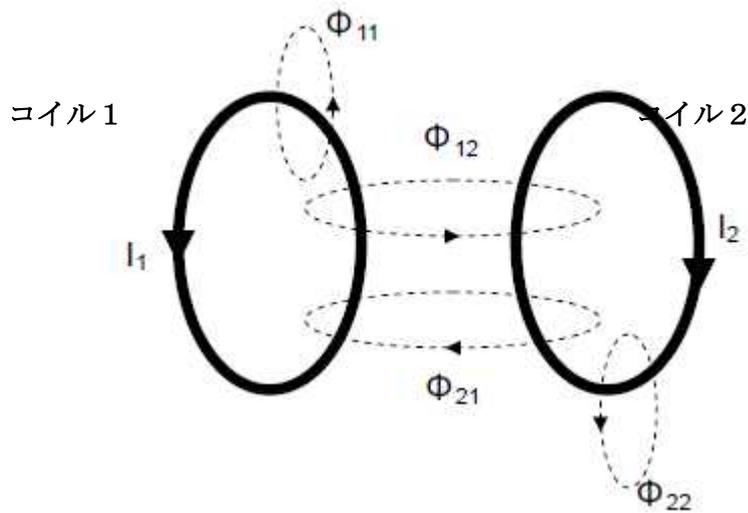


図 2-2-2 自己誘導と相互誘導

図 2-2-2 において、 Φ_{11} はコイル 1 を流れる電流 I_1 によって作られた磁束のうち、コイル 1 に鎖交している磁束であり、 Φ_{21} はその磁束のうちコイル 2 に鎖交している磁束である。この時、コイル 1 の自己インダクタンス L_1 と、コイル 1、コイル 2 における相互インダクタンス M_{21} は、それぞれ次のように表される。

$$L_1 = \frac{\Phi_{11}}{I_1} = \frac{N\phi_{11}}{I_1} = \frac{N\mu HS}{I_1} \quad (2.2)$$

$$M_{21} = \frac{\Phi_{21}}{I_1} \quad (2.3)$$

この時、 μ は透磁率、 H は磁界の強さ、 S はコイルの面積である。また、ノイマンの公式から、 M_{12} と M_{21} の間では次の関係式が成り立つ。

$$M_{21} = M_{12} = M \quad (2.4)$$

そして、2 つのインダクタンス間では漏れ磁束があるために、一般的に以下の関係式が成り立つ。

$$M^2 \leq L_1 L_2 \quad (2.5)$$

この時、送電側から出た磁束のうち、受電側に鎖交する磁束の割合を表すパラメータ k ($0 \leq k \leq 1$) を置いてこの式を考えると、以下のようになる。

$$|M| = k\sqrt{L_1 L_2} \quad (2.6)$$

相互インダクタンス M は、図 2-2-3 のように、2 つのインダクタをそれぞれ順方向接続、逆方向接続したときのインダクタンス L_a 、 L_b から次のように求められるため、結合係数 k は (2.6) より求められる。

$$M = \frac{La - Lb}{2} \quad (2.7)$$

2-2-1-3 Q係数

Q係数は、共振させた（電流と電圧の位相を一致させた）送電側コイルが保持するエネルギーについての指標である。送電側に入力したエネルギーは、電気エネルギーまたは磁気エネルギーとして保存される以外に様々な理由で失われる。例えば、電磁波として遠方放出してしまったり、コイルの抵抗成分で消費してしまったりする。しかし、入力したエネルギーの内、実際に電力伝送に寄与する部分は、電気エネルギーや磁気エネルギーとして保存されるエネルギー部分である。従って、この指標としてのQを上げることが伝送の高効率化につながる。

電磁誘導方式におけるQ係数は、一般的に次のように表される。

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (2.8)$$

ここでLはインダクタンス、Rはコイルの抵抗や、遠方放出に寄与する抵抗成分で表したものである。この式は、単位時間当たりの蓄積されるエネルギーと損失されるエネルギーの比である事がわかる。

また、このQ係数は共振回路の周波数特性にも関わってくる。図2-2-4の周波数特性の場合、共振する中心周波数を f_0 、ピークから3dB下がった点、つまり振幅が $1/\sqrt{2}$ となる点であるが、それをそれぞれ f_1 、 f_2 とする。このとき、Qは次の式で表される。

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad (2.9)$$

Qが高いほど中心周波数での利得は大きくなるが、周波数の変動に対して利得の減衰量が大きくなる。それにより、温度変化や素子のパラメータのばらつき、経年劣化などに対して非常に弱くなってしまうため、利用法によっては、必ずしもQを高くすれば良いというわけではない。例えば、Felicaのような非接触ICカードはおおよそ20前後、電磁誘導方式による非接触給電ではおおよそ100前後、後述する共鳴方式ではおおよそ1000前後といわれている。

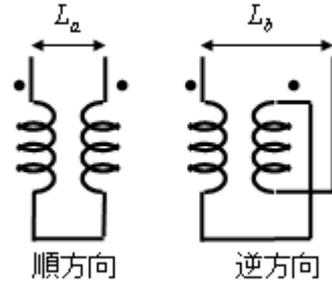


図 2-2-3 相互インダクタンス測定

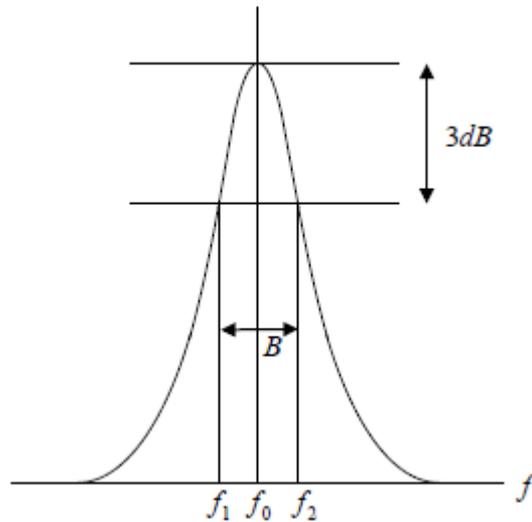


図 2-2-4 Q と大域幅の関係

2-2-1-4 高効率化

電磁誘導方式は、結合係数 k を主眼に置き、 k を大きくすることで高効率化を図ろうとするものである。先に説明したとおり、 k は鎖交する送電側アンテナコイルから発生した磁束のうち、受電側アンテナコイルを通る磁束の割合を示した物である。従って、 k を高めるには、以下のような条件を考慮する必要がある。

- ① 送電側コイルと受電側コイルの形状や大きさは出来る限り同じサイズが良い
- ② 2つのコイル間距離はコイル直径の 1/10 以下が望ましい
- ③ 2つのコイルはフラットで平行に配置されることが望ましい
- ④ 磁気に影響を与えないシールド材を用いる
- ⑤ 2つのコイルは適切な位置に置かれること

①から④までは、設計において考慮されるべき項目である。例えば①に関して、アンテナコイル径が違う場合について、図 2-2-5 に示す。これは、受電側アンテナコイルと送電側アンテナコイルの直径が相対的に異なる場合に効率が低下することを表した物である。送電側アンテナコイルより受電側アンテナコイルが大きな場合、送電側から発生した磁束は、受電側アンテナコイル内を行きかえってくる磁束ができる。この磁束は無線電力伝送には寄与しないと考えられるため、その分伝送効率は落ちる。また、送電側アンテナコイルより受電側アンテナコイルが小さな場合、送電側から発生した磁束の多くは受電側アンテナコイルを通らない漏れ磁束となってしまふ。この場合、受電側アンテナコイルを様々な場所に移動しても、広い範囲で同じ量の磁束を受信できるため動作範囲は広がる物の、効率としては低い物となってしまふ。

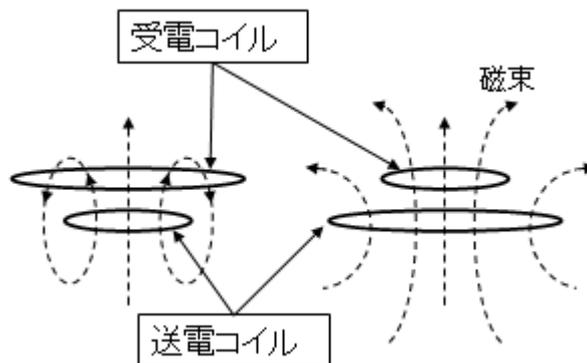


図 2-2-5 コイル径の違いによる効率低下モデル

①～④においては設計により決まる物である。しかしながら、⑤においては、実際に利用する上で、利用者が意識してコイルをあわせる必要がある。これは、利用者に不便さを感じさせる可能性があり、その利用のしやすさを考えている無線電力供給において好ましい物ではない。

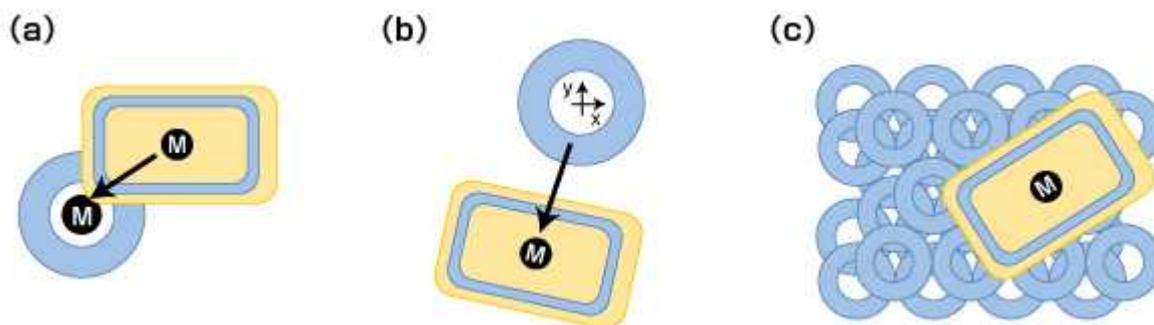


図 2-2-6 WPC が規定する送電コイルの構成 (引用：EETimes)

そこで WPC (Wireless Power Consortium) では、位置合わせに関する様々な補償手段方法が示されている。図 2-2-6 は、WPC が規定するコイルの構成である。コイルの位置を合わせる際に、利用者にその動作を強く意識させる必要がない様にするためのものである。(a)は、コイルの位置あわせを磁石でサポートする方法である。単純な方法ながらも、利用者がおおよそに受電側デバイスを置けば、適切な位置へと調整される。(b)は受電側アンテナコイルの位置を検出し、フィードバックすることで、何らかの方法で送電側アンテナコイルを適切な位置に動かすというものである。例えば、三洋電機は送電側に位置検出用コイルアレイを作り、それにより受電側コイルの位置を探索した後に、送電側コイル位置をモーターで移動させる方法をとっている。(c)は複数のコイルをアレイ状にならべることで、シート状のようにして、広い範囲で利用できるようにする物である。この場合、全てのコイルに通電すると、不要な磁束も発生してしまうため、高効率化を図るためには必要部分の選択を行う必要がある。

上記に示した方法のほかにも、コイル中央に磁性シートを挿入することで、磁束がコイル内を通りやすくすることで、結合係数を高める方法もある。

2-2-2 共鳴方式

電磁誘導方式が結合係数 k に主眼を置いていることに対して、共鳴方式は Q 係数に主眼を置

いている。

共鳴方式の原理は、例えば音の共鳴現象で説明すると分かりやすい。固有振動数が同じ音叉は、ある1つの音叉を叩けば、離れたもう1つの音叉も振動し始める。これは空气中をエネルギーが伝播して伝わったためと考えられる。

共鳴方式無線電力伝送でもこれと同じことを行っている。送電側コイルには高周波電力を供給する。すると、送電側コイルは特定の共振周波数でエネルギーを近傍界に放出する。このとき、送電側と同じ共振周波数をもった受電側コイルを置けば、エネルギーが受電側に伝わる。

送電側アンテナコイルと受電側アンテナコイルの距離が大きく離れてしまった場合、電磁誘導方式では k が下がるために効率が下がってしまう。しかしながら、 k が小さくても損失が少ない回路、つまり Q が十分に大きい回路においては、高効率の伝送が可能である。エアギャップを広げ、結合係数が0.1ほどになっても、90%以上もの十分な効率が出るという報告もある。電磁共鳴方式については、2007年にMITのMarin Soljacic氏の研究グループが行ったワイヤレス伝送実験が有名である。このとき、約2m離れた60Wの電球に電力を送り点灯させた。この実験の際の伝送効率は約40%であったが、当時、電磁誘導方式でこれほどの距離をこれだけ高効率で送ることはできず、非常に大きな反響を呼んだ。

非常に優れた技術である共鳴方式であるが、コイルの設計が非常に重要である。抵抗損を小さくしたり、遠方放出による損を小さくしたりする必要があるため、設計が非常に難しいと考えられる。そして、フレキシブルなデバイスを目指している今回は、ディスプレイの直下にフレキシブルな電力供給アンテナを入れようと考えているため、ディスプレイとの相互影響も考えられるため、別の方式を選択した。フレキシブルなアンテナを作るということは、抵抗損についても損であることも挙げられる。また、コイル同士の相対的な位置を変えることで、共振する周波数が変わるため、移動体等の場所の定まらない物への給電に関しては、位置補償を行う必要がある。常に留まっている状態の物に対する無線電力伝送には大変相性が良いが、今回は給電中にある程度微動が続くことも考えられ、これも他の方式を利用した要因のひとつである。

2-2-3 電界結合方式

電磁誘導方式がコイルを使った磁界での結合であるのに対し、電界結合方式（または容量結合方式）は、仮想的な容量（結合容量）を作り、電力を送る方式である。図2-2-7はその概念図である。送電側と受電側にはそれぞれ電極があり、給電を行う際にはそれぞれの電極を対向させる。すると、電極を対向させた部分が仮想的にキャパシタとみなすことができ、ここを介して電力が受電側に送られる。

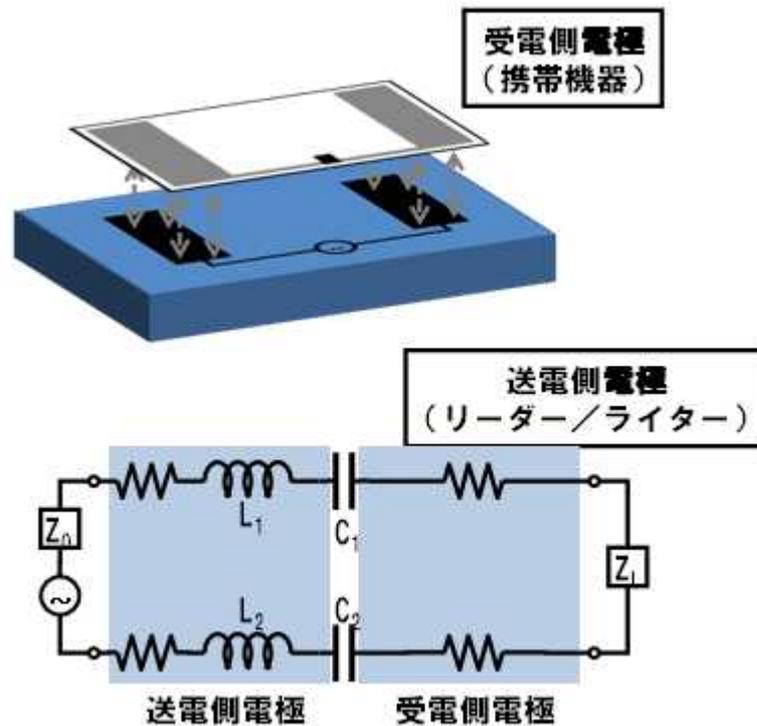


図 2-2-7 電界結合方式概念図

電界結合方式では、電極形成は非常に容易であると考えられる。送電側電極を広く取ろうと考えた場合、電極をそのまま広げることで可能になると考えられる。電極も膜状でよいと考えられ、フレキシブルなデバイスへの搭載についても、相性が良いと考えた。また、今回は、コントロールにおいても優位性があると考えている。電磁誘導方式においては、送電側と受電側の2つの回路がそれぞれ独立した回路となっており、その回路間を磁束により結合させていると考えられる。その一方で、電界結合方式においては、結合容量を通して、送電側と受電側を合わせて1つの回路として考えられる。従って、電磁誘導方式においては、負荷にどれほどの電力が供給できているかを観測するために、送電側回路と受電側回路の間で、何かしらの通信が必要であると考えられる。しかしながら、回路が1つのループで閉じている電界結合方式であれば、送電側回路内の何れかの状態を確認することで、負荷側が供給を受けている電力量をある程度推測でき、送電側回路と受電側回路の間で通信が不必要なのではないかと考えた。

2-3 デバイス構想

今回は、電界結合方式による無線電力供給を考えた。その理由は、供給側を大型化した際の構成の容易さにある。将来的なデバイスのユースケースの1つとして、例えば、机上的ような広いスペースすべてを、供給面に使えないかということを考えている。このような利用法を考えた場合、電磁誘導方式では、図 2-8(c)のようにコイルをタイリングする方法が考えられる。しかしこの方法では、供給面に大量のコイルを形成したり、それぞれに配線を行ったりと、多大な労力を要する。また、形成した全てのコイルに電力を送ると効率が落ちるため、必要コイルを選択してそのみに電力を送り、磁束を発生させる必要がある。しかしながら、電界結合方式で同じような物を考える場合、供給側の電極を大きくするだけでよい(図 2-3-1)。利用す

る場合に形成される容量は、電極の小さな方、この場合は受電側の電極によって決まるため、送電側のみの電極を大きくして横方向の広い面で使えるようにすることが出来る。電磁誘導方式の場合、電力ロスを考えなければ図 2-3-1 のように送電側電極を相対的に大きくすることも考えられるが、Felica カードのような消費電力が小さな物であればよいが、大電力を送るにあたってそのロスは無視できない物となる。

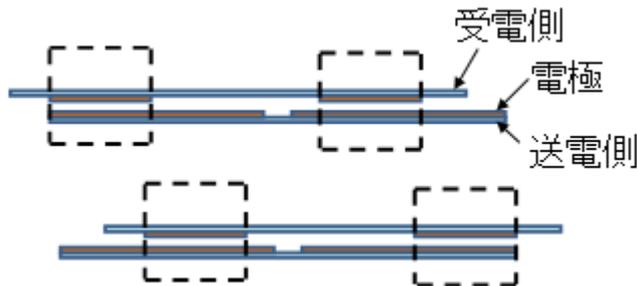


図 2-3-1 電界結合の横方向位置ずれ補償

次に、供給能力を上げる方法について考える。

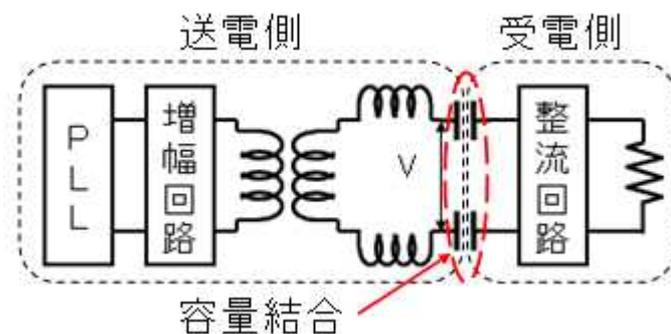


図 2-3-2 回路構想概要

構想回路の概要図を図 2-3-2 に示す。電圧を上げる方法には、例えば DC-DC コンバータなどで昇圧する方法も考えられるが、今回は図 2-3-1 の回路にあるように、容量結合前段にインダクタを入れることで直列共振回路を形成し、電圧を上げることを考えた。しかし、今回考えているデバイスでは、利用時には送電側デバイスに受電側デバイスをタッチするという利用法を考えているため、電界結合部分の容量は利用者によって変動する可能性があり、その場合直列共振が維持できなくなる。例えば、図 2-2-6(a)のように磁石で誘導する、というような方法で補償することも考えられるが、より自由度の高い利用が出来るよう、電源周波数を変えることで補償ができないか、と考えた。直列共振回路で、共振周波数はインダクタンスとキャパシタンスから決定される。よって、送電側回路のいずれかを観測して、直列共振が起こり続けるように周波数を変えるシステムにしようと考えた。そのシステムとしては、PLL 回路を使い、観測したデータをフィードバックして周波数のコントロールを行う。

2-4 共振無線電力伝送安定化技術の開発

2-4-1 理論

電界結合方式による無線電力伝送の原理は以下のとおりである。まず、受電側、送電側ともに 2 対の電極を設置する。受電部と送電部を近づけると、それぞれの電極間に容量が発生し、回路として接続されている状態とみなすことができる。図 2-4-1 に電界結合方式の最も基本的な回路を示す。

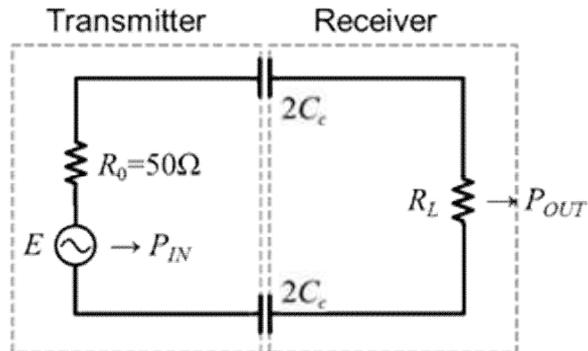


図 2-4-1 基本的な電界結合方式の回路

E は電源電圧、 $f (=2\pi\omega)$ は電源周波数、 R_0 は内部抵抗、 R_L は受電部の抵抗、 C_c は送電部と受電部によって形成される電極である。 $2C_c$ としているのは、コンデンサの直列接続で合計の容量が C_c となり、計算が簡単になるためである。入力電力を P_{IN} 、 R_L で出力される電圧を P_{OUT} とする。

図 2-4-2 は、 $R_0=R_L=50\Omega$ とした時の周波数と P_{OUT}/P_{IN} の関係を示す。 $|1/\omega C_c| > R_0+R_L$ のとき、 $P_{OUT}/P_{IN}=\omega C_c^2 R_L$ となり、 ω に比例する。 $|1/\omega C_c| < R_0+R_L$ のとき、 $P_{OUT}/P_{IN}=R_L/(R_0+R_L)^2$ となり、 ω に依存せず最大出力となる。以上から、 $|1/\omega C_c| < R_0+R_L$ となるように ω を設定すればよい。

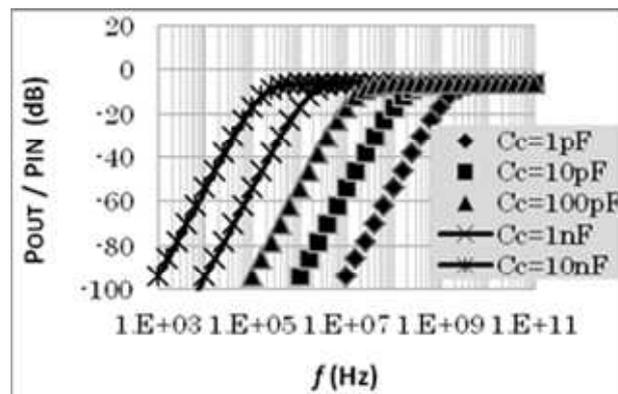


図 2-4-2 基本的な電界結合方式回路の周波数特性

しかし、実用上、高周波の電源では効率が低くなるため、 ω はあまり大きい値には設定できない。電波法で定められている 13.56MHz が実用的な効率で動作する周波数の上限と考えられる。そうすると最大電力を供給するための C_c は 1nF 必要であり、これは電極間のエアギャップが

1mm であったとすると 1000cm^2 の面積が必要になる。この方法では電極の面積が非常に大きくなってしまいうため、より小さい容量で動作する回路を設計することが求められる。

そこで、 C_c の値が小さくても、比較的低い周波数で最大出力が得られるように考案されたのが、図 2-4-3 に示す共振を用いた回路である。コイルを $L/2$ としているのは、コイルの直列接続で合計のインダクタが L となり、計算が簡単になるためである。

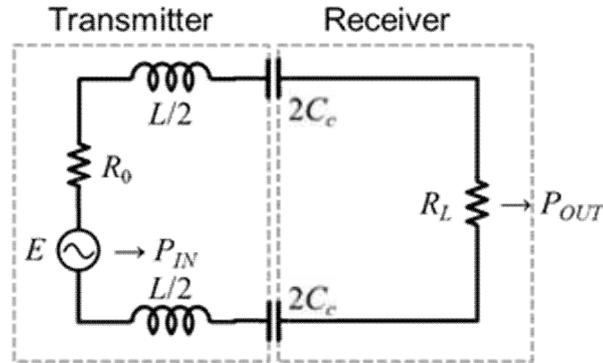


図 2-4-3 共振を用いた電界結合方式の回路

図 2-4-4 は、 $R_0=R_L=50\Omega$ 、 $L=100\mu\text{H}$ とした時の周波数と P_{OUT}/P_{IN} の関係のグラフである。この方法では、最大出力が得られる点は共振点 $f=1/2\pi LC_c$ である。 $C_c=1\text{pF}$ でも共振周波数では他の大きな C_c と同様な値で最大出力を得ることが可能である。また、この方法では容量が変化した際に共振周波数が変化してしまうが、最大出力が得られない場合に送信電圧の周波数を変動させる必要がある。

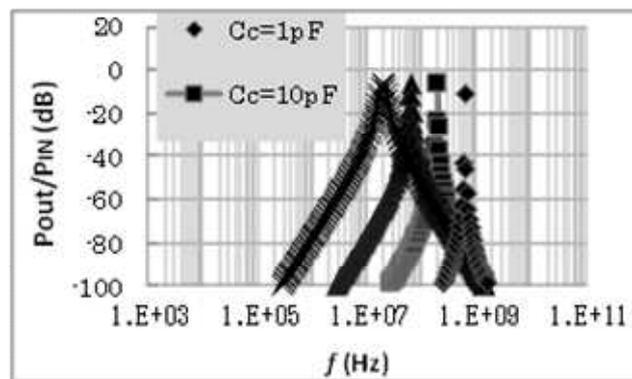


図 2-4-4 共振を用いた回路の周波数特性

しかし、この方法では容量が著しく変化する場合、周波数を対応させるのは非常に困難である。容量が $10\text{pF}\sim 100\text{pF}$ の範囲で変動する場合、周波数を 3.16 倍変化させなければならない。そこであまり周波数を変化させず、且つ容量が小さくても動作する回路を設計する必要がある。ここで、先ほどの最も基本的な電界結合方式の回路を考察すると、最大電力が得られるのは $f > 1/\{2\pi C_c(R_0+R_L)\}$ の時であるから、 R_L を大きくすれば f は小さくなる。しかし、ただ単に R_L を大きくしただけでは、得られる電力の値が下がってしまう。これを考慮して、送信部分にトランスを組み込み、 R_L を大きくしても最大出力電圧が変化しないようにしたのが図 2-4-5 の回路である。

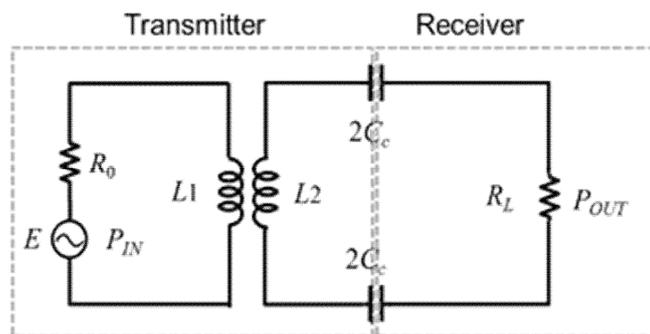


図 2-4-5 トランスを挿入した回路

図 2-4-6 は、 $R_0=50\Omega$ 、 $L_1=600\text{nF}$ 、 $L_2=10\mu\text{H}$ 、 $R_L=4500\Omega$ とした時の周波数と P_{OUT}/P_{IN} の関係のグラフである。なお、シミュレーション上では結合係数 $k=1$ (相互インダクタンス $M=\sqrt{L_1 \times L_2}$)とする。上記の値では $M=2.57\mu\text{H}$ である。

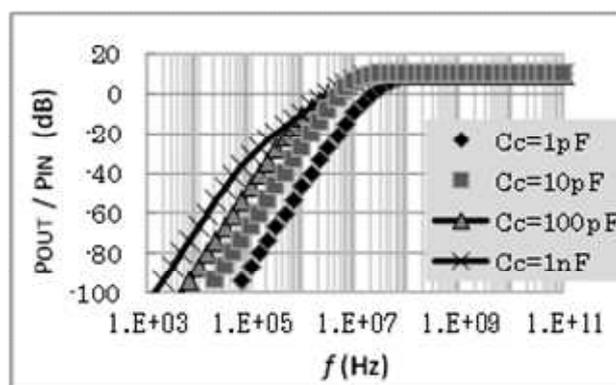


図 2-4-6 トランスを挿入した回路の周波数特性

トランスを用いた場合、出力電圧は、トランスの相互インダクタンス M と、コンデンサ接続部分 C_c の 2 つの要素で制限される。トランス部分では $\omega < |M / R_0|$ のとき、内部抵抗 R_0 での消費が大きくなってしまう。コンデンサ部分は基本的な回路と同様に $|1/\omega C_c| > R_0 + R_L$ のときに制限される。よって内部抵抗 50Ω 、周波数 13.56MHz でトランス部分の影響を受けないようにするには、 $M=23\mu\text{H}$ 以下にする必要がある。

図 2-4-9 より、最も基本的な回路と比較して、最大出力が得られる周波数が下がっていることがわかる。また共振を用いているわけではないため、ある周波数以上では容量が変化しても最大出力が変化しない。これにより周波数を調整することなく最大出力電力が得られる。

今回、この回路に基づき各素子を作成し、得られる電力の測定を行った。

2-4-2 製作・測定

今回、上記のトランスを用いた電界結合方式の回路を作成し、電流電圧の測定を行った。高周波電源は Tektronix AFG3021B を用いた。このとき $R_0=50\Omega$ である。トランス部分は直径 30mm のトロイダルコアに、巻き数比 $1:4$ となるようにエナメル線を巻き付けた。インダクタの値は、それぞれ $L_1=660\text{nH}$ 、 $L_2=10\mu\text{H}$ である。電極部分は受信部・送電部共に $100\text{mm} \times 140\text{mm}$ の銅版を 2 対接続した。受信側と送信側のギャップは、ガラスエポキシ樹脂 1mm で

ある。この状態で容量を測定すると $C_c=100\text{pF}$ である。さらに、エアギャップのある状態で測定を行うと、エアギャップ 5mm で $C_c=23\text{pF}$ 、エアギャップ 10mm で $C_c=14\text{pF}$ であった。

図 2-4-5 の回路図に上記の測定した値を代入し、 $R_L=4500\Omega$ としたときの 562kHz～23.7MHz の範囲の P_{OUT}/P_{IN} を回路シミュレータで計算し、その結果を図 2-4-7 に示す。測定周波数をこの範囲にしたのは、562kHz 以下では出力が得られず、また電源の関係上 25MHz 以上の測定ができないためである。図 2-4-7 より、14pF～100pF では比較的容量に依存せず出力を得られることがわかる。

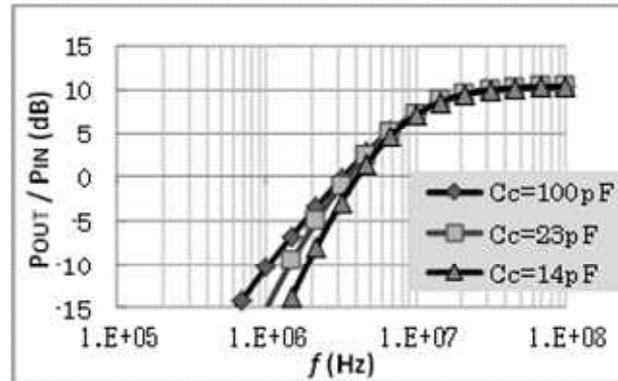


図 2-4-7 562kHz～23.7MHz の周波数特性(理論式)

実際の回路では直流電圧を必要とすることが多い。したがって、出力部分に整流素子、平滑回路を接続させ、最終的な回路としたのが図 2-4-8 である。

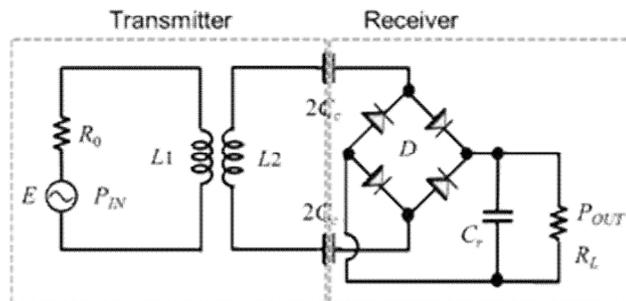


図 2-4-8 整流素子と平滑回路を入れた回路

電力出力部分に KEITHLEY 237 SOURCE MEASURE UNIT を接続した。交流電源電圧を 10V、周波数を 62kHz から $10^{1/8}$ 倍ずつ変化させ、その間にかかる電圧・電流の測定を行った。図 2-4-9 は $C_c=100\text{pF}$ の電流、電圧の測定結果のグラフである。

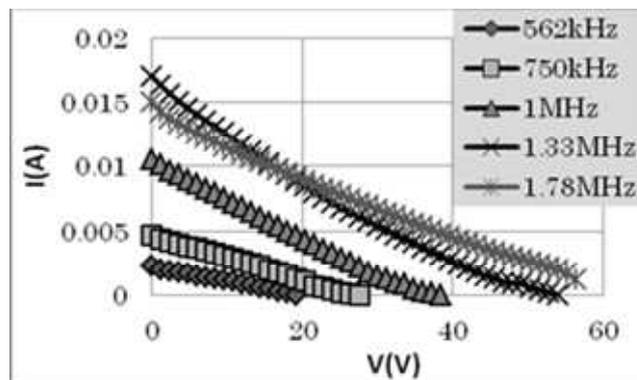


図 2-4-9 $C_c=100\text{pF}$ の電流、電圧の測定結果

このグラフより、最大電力が得られる点、すなわち、電流と電圧の積が最も大きくなる点を求めた。 $C_c=100\text{pF}$ では、周波数 1.78MHz 時に最大 27.6V 、電力 $0.215\text{W}(9.54\text{dB})$ を得られた。その時の抵抗の値は 4870Ω である。

上記のグラフより、各周波数での抵抗(電圧/電流)とその時に得られる電力(電圧×電流)を計算できる。各抵抗に対して得られる電力を表したのが図 2-4-10 である。

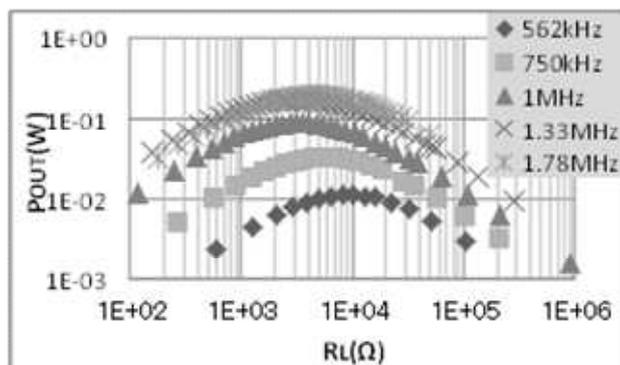


図 2-4-10 抵抗と電力の関係

図 2-4-10 より各抵抗における周波数と電力の関係が求められる。 $C_c=23\text{pF}$ 、 $C_c=14\text{pF}$ の時も同様に測定を行い、 $R_L=4500\Omega$ 時の P_{OUT}/P_{IN} と周波数の関係をまとめると図 2-4-11 のようになる。

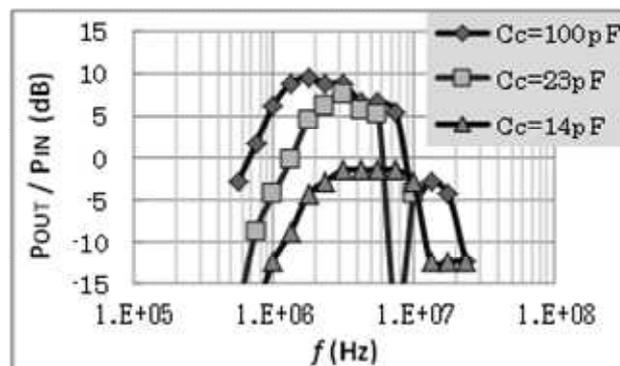


図 2-4-11 実測の周波数特性

最大出力電力は 100pF と 23pF では理論値とほぼ同じ 10dB であるものの、周波数が 1.78MHz と、やや低い値となった。また、 1.33Hz から 3.16Hz の間と、共振回路に比べて広い範囲で高出力を得ることができた。 14pF では 0dB 以上の値を得ることができなかった。 10MHz 付近で電力が著しく低下するのは、トランスのコイル部に並列に寄生容量が発生し、その部分と共振を起こし電流が受電部に流れなくなってしまうためである。

2-5 測定

2-5-1 パネル消費電力測定

今回の実験を行うにあたり、まず決めなければならないことは供給電力の目標値である。通信に使う Bluetooth のモジュールの消費電力は、おおよそピーク値として $300\sim 400\text{mW}$ が必要であるという測定が、すでに終わっている。

その他に消費電力が高い物が受電側にあるとすれば、それはディスプレイかディスプレイコ

ントロール部分であると考えられる。従って、ディスプレイとディスプレイコントロール部分でどれほど電力を消費するかの目安をつける必要がある。電子ペーパーディスプレイには、様々な種類のものがある。その中でも今回は、容易に入手できるものとして、E-ink 社の技術であるマイクロカプセル型電気泳動ディスプレイを採用した、電子ペーパーキット「Trinity B」を暫定的に採用した（図 2-5-1）。機能なども非常にシンプルで、大きな外部回路なども見受けられないため、このディスプレイキットを無線給電により動かすことが出来るだけの給電が出来れば、今後の開発においても十分であると考えた。なお、今回はパネルサイズが 5 インチのものと 9.7 インチのものの 2 種類がある。

パネルの消費電力の測定方法であるが、USB ケーブルの 5V ラインの途中に、測定用の抵抗（0.73Ω）を直列に挿入し、その部分の電圧をオシロスコープで測定し、それにより消費電流が計算で求められるため、それぞれの状態における消費電力のピークを見た。この際、抵抗を挿入したことによる電圧の降下は無視し、USB 本来の供給電圧である 5V が供給されていると仮定して計算をしてある。なお、パネル初期化はサンプル画像を描き変え続ける際の消費電力を、アイドルは何もせずに待機する際の消費電力を、リフレッシュはディスプレイ機能としてディスプレイ全面を白の状態に戻す際に消費する電力のことを指す。

表 2-5-1 に、その測定結果を示す。9.7 インチを動かすためには、余裕を考えると最低でも 4W 供給できるようになればよいと考えられる。なぜなら、ピーク値がまだ大きく出る可能性がある



図 2-5-1 電子ペーパーモジュール Trinity-B

あるということや、ディスプレイの書き換えと、画像データの受信を同時に行うことができるようになれば理想的だ、と考えたためである。後者の考えに関しては、時分割的にすること、つまり、画像データ通信を行い、そのデータを一度バッファに保存し、通信終了後に描き始めるという方法をとれば、必要最低供給電力は小さくなる。同時に行えば、より多くの処理を必要とし、コントロール部分の消費電力やコストも上がる可能性がある。しかしながら、利用のしやすさを考えると、

当然同時に行ったほうが良いと考えられる。また、ディスプレイのコントロールしだいでは、まだ消費電力が下がる可能性もあるが、それについては今回割愛する。

表 2-5-1 ディスプレイ消費電力（単位は mW）

		ディスプレイサイズ	
		5インチ	9.7インチ
状態	パネル書き換え	2,760	2,795
	アイドル	884	630
	リフレッシュ	2,197	3,479

2-5-2 検出回路

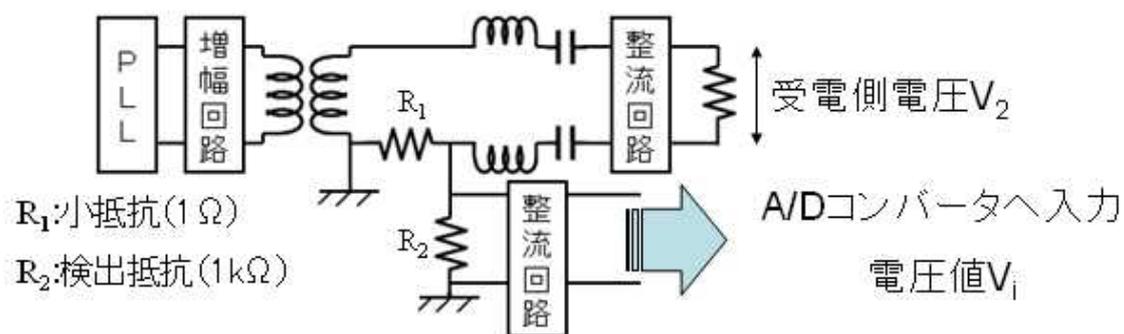


図 2-5-2 電流検出回路概要図

今回目標とする回路では、送電側回路内でどれだけの電力を供給できているかをモニターし、それを PLL 回路にフィードバックして周波数をコントロールし、供給能力を上げることを考えている。そのため、供給電力をモニターするための回路を送電側回路内に挿入する必要がある。図 2-5-2 はそのための電流検出回路である。回路としては、流れ込んだ電流を電圧として整流、増幅して、マイコンの A/D コンバータで電圧値を読み取るものである。回路の挿入箇所としては、結合容量部分と、直列共振のために挿入されたインダクタとの間の部分にいった。

この電流検出回路の動作確認として、電源部（電源部とは PLL 回路より出力した電圧波形を増幅したものであり、以後同じ表記ではこのことを指す。）の出力電圧を変えた場合、A/D 電圧値と出力電流がそれぞれどのように変化するか、動作確認を行った。送電側の出力部分には $12\text{k}\Omega$ の抵抗を接続し、電流を観測している。図 2-5-3 に、その結果を示す。出力電圧を変えていくと、出力電流が全体的に上昇していき、また、それに追従して A/D 電圧値が上昇していることが分かる。出力電圧が 11V と 12V の周辺で線形性が崩れているが、具体的な原因は分かっておらず、何れかの素子に影響されていると考えている。しかし、それ以外の部分ではおおよそ綺麗な線形性がとれている。

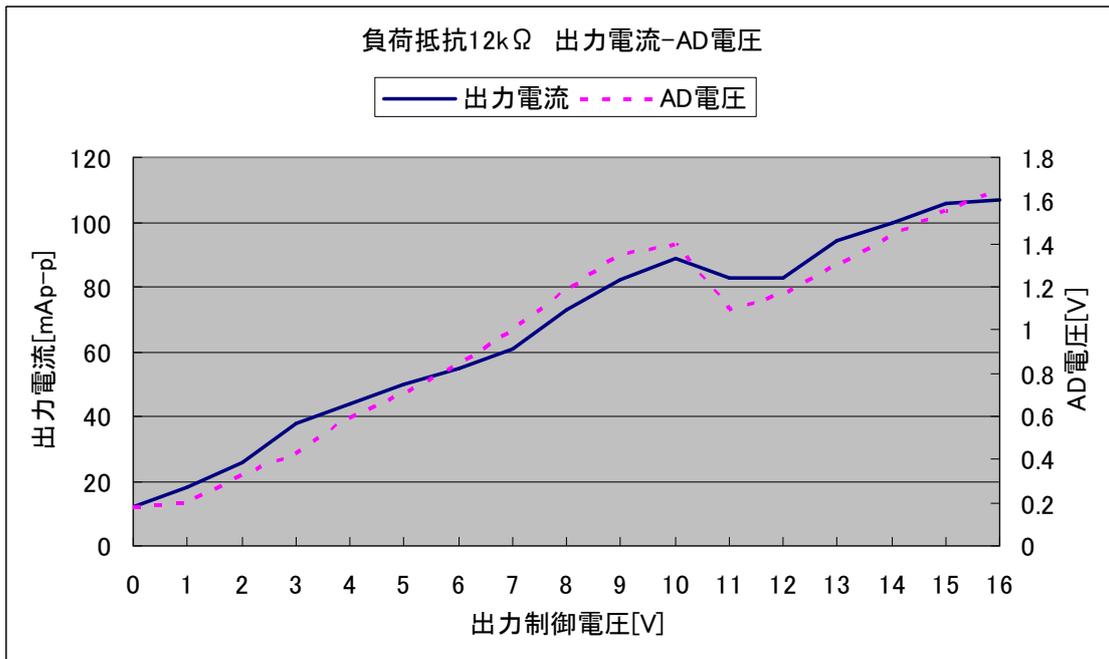


図 2-5-3 電源電圧対出力電流並びに A/D 電圧

2-5-3 周波数特性

次に、様々な部分において、周波数を変えたときの回路の動作について測定を行った。結合容量部分は、図 2-5-4 のようにガラスエポキシの銅箔基盤を削りだしたものを利用する。それぞれの電極の大きさは 104×141(mm)で、横方向のずれはないようにねじで固定しており、距離も一定になるよう固定している。受電側電極には、ブリッジ整流回路と平滑コンデンサを付け、DC 電圧を見ることが出来るようにしている。また、基本的に負荷部分はオープンで測定を行っている。まず、図 2-5-5 は各電源部電圧値において、周波数を変えたときの A/D 電圧の値をグラフにしたものである。電源電圧値の変化に対して、特性変化があるかを確認するために行った測定である。

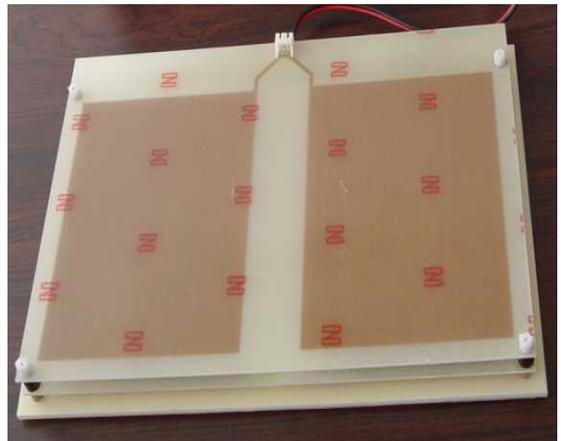


図 2-5-4 結合容量電極

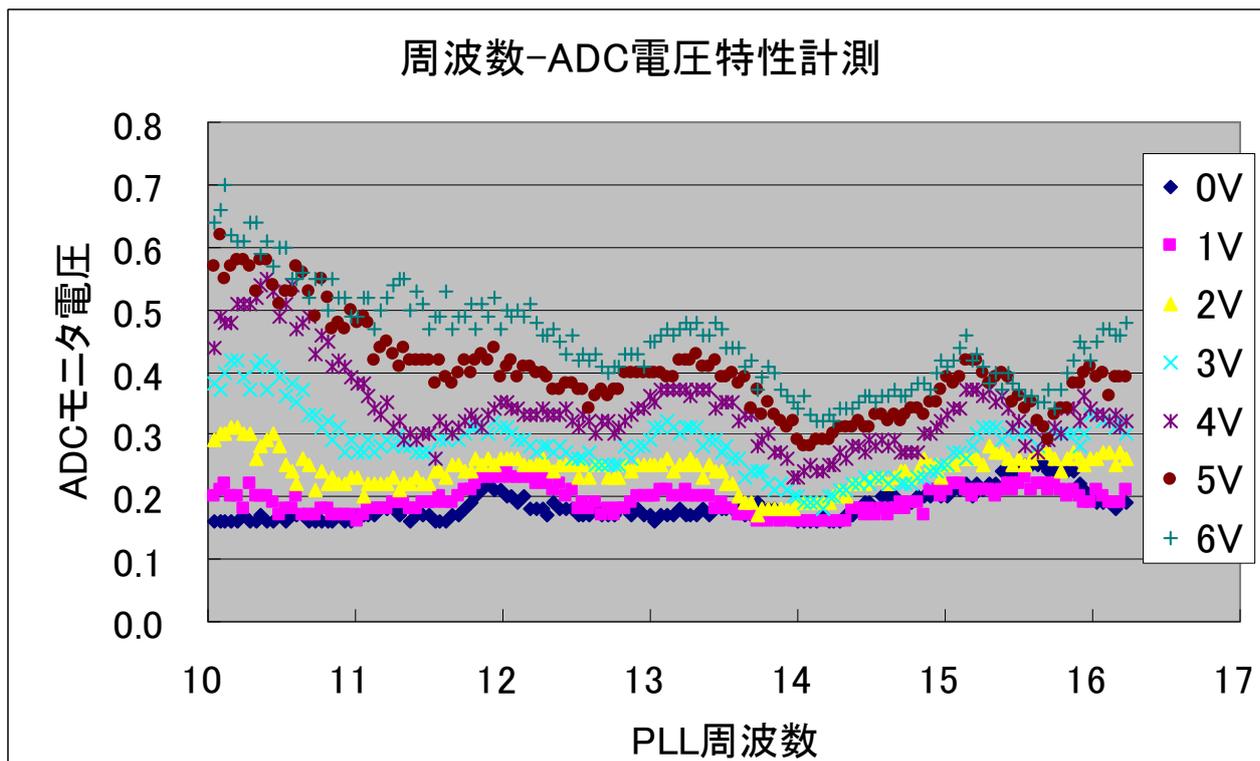


図 2-5-5 各電源出力電圧での周波数対 A/D モニター電圧（電流検出）

結果としては、電源電圧を変えて測定を行っても大きな傾向の違いは出なかった。従って、電力の供給量を直接変化させる方法のひとつとして、電源電圧を直接変えることができる。これは、例えば感電対策等の安全保障対策の面で利用できると考えている。

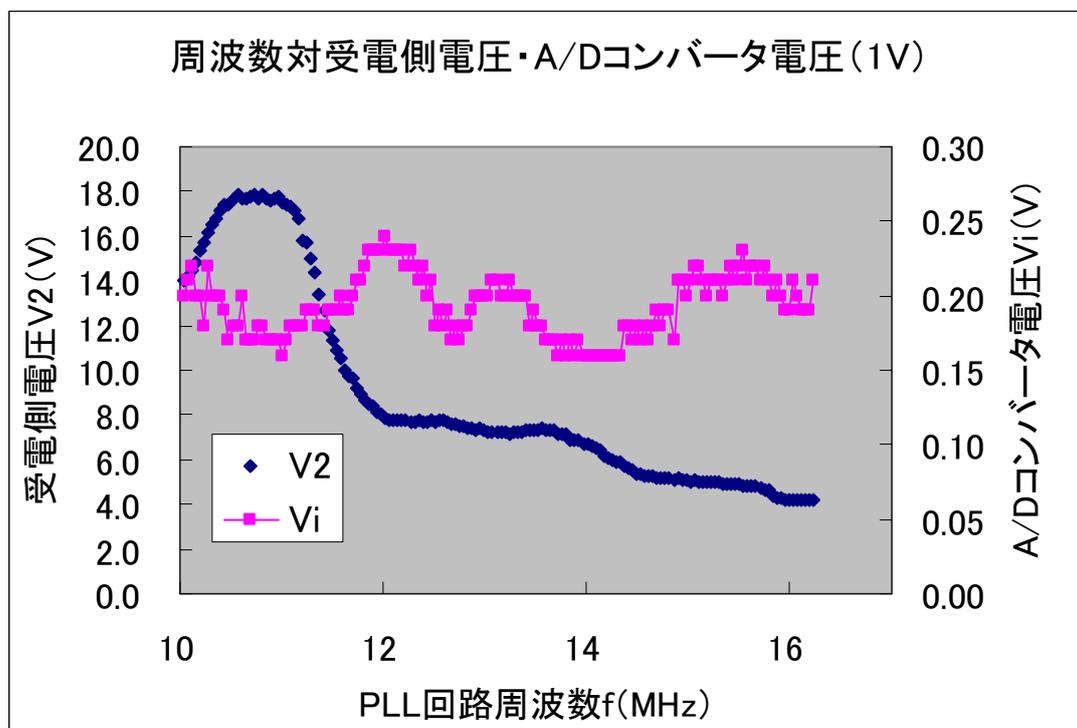


図 2-5-6 周波数対 A/DC 電圧・2 次側電圧（電流検出・電源電圧 1 V）

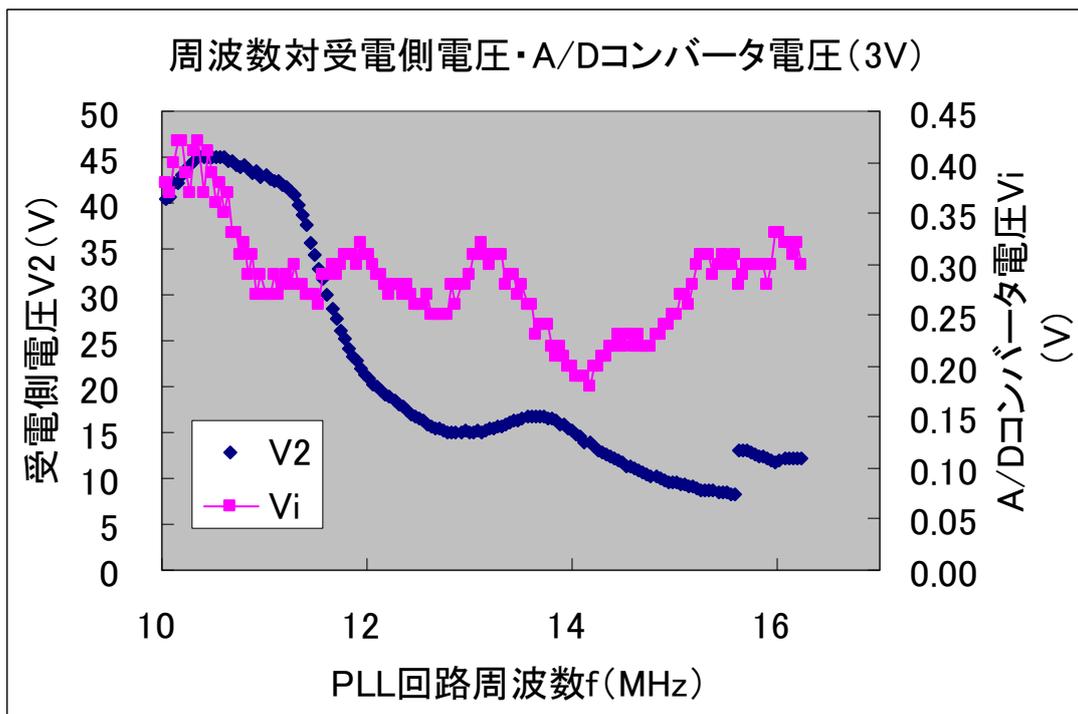


図 2-5-7 周波数対 A/DC 電圧・2 次側電圧 (電流検出・電源電圧 3V)

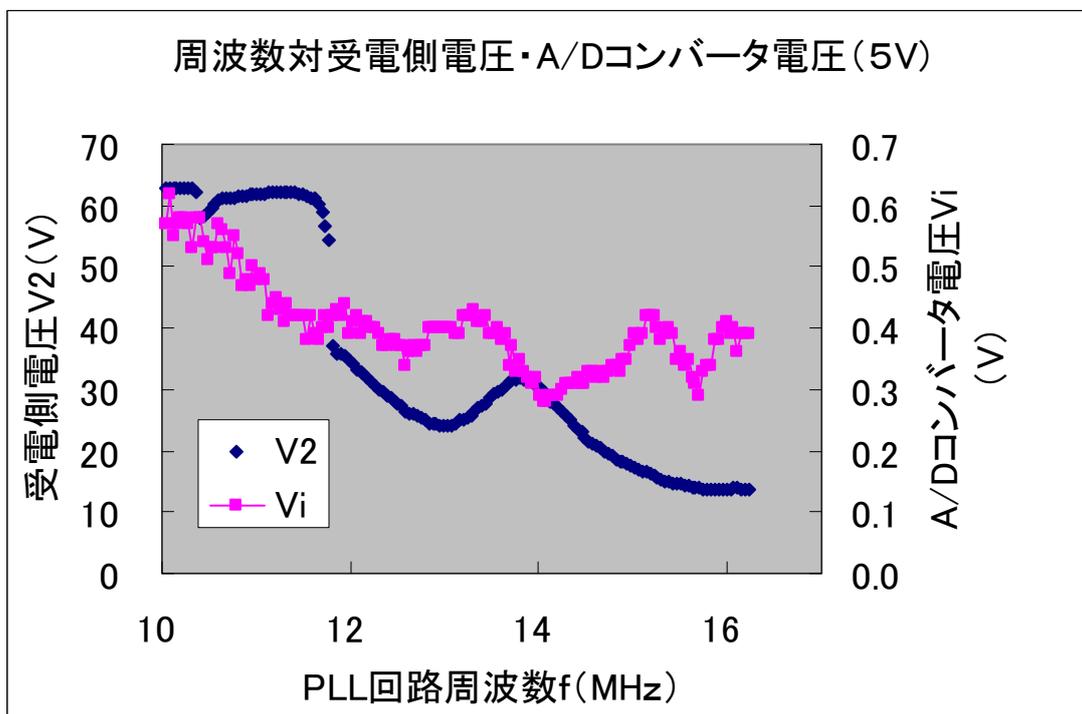


図 2-5-8 周波数対 A/DC 電圧・2 次側電圧 (電流検出・電源電圧 5V)

図 2-5-6、図 2-5-7、図 2-5-8 は、A/D コンバータ電圧と 2 次側電圧を対比した物である。2 次側出力電圧に対応して、A/D コンバータ電圧が変化すれば、そのデータから PLL をコントロールが出来るため、測定を行った。電源電圧はそれぞれ 1V、3V、5V で測定を行っている。AD コンバータ電圧はマイコンで読み取り、2 次側電圧は整流後の電圧をオシロスコープで読み

取った。結果としては、全ての場合において、2次側の出力電圧と A/D コンバータ電圧の間に相関性が認められなかった。2次側電圧は、特に電源電圧が 1V の時をみれば分かりやすいが、10.6MHz 付近でピークが見えることが良く分かる。しかしながら、A/D コンバータ電圧はその結果とは相関性を持たず、ばらばらな値となった。これでは、当初の目的である、電力伝送の高効率化は図れない。

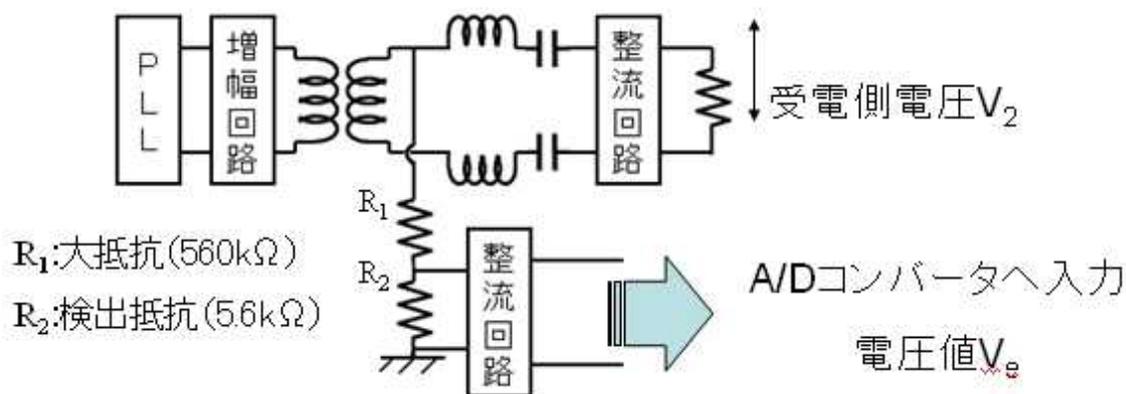


図 2-5-9 電圧検出回路概要図

そこで、電流検出回路ではなく、電圧検出回路を挿入して同様に測定を試みた (図 2-5-9)。図 2-5-10 は、この回路において測定した、周波数対 A/D コンバータ電圧及び 2次側電圧をグラフにした物である。これを見ると、2次側電圧のピーク値と A/D コンバータ電圧のピーク値がほぼ一致していることが分かる。電流検出回路においては分からなかったピーク値の検出が出来る可能性が十分にある。しかしながら、ピーク値を除いて、2次側電圧と A/D コンバータ電圧に相関性が見つけられず、この方法で共振周波数を見つけることが出来るのかという確信までには至っていない。検出方法としては電圧検出回路のほうが有用であると考えられるが、今後は、検出端子を変更したり、検出方法について別の方法がないかを考えたりしながら、直列共振周波数探索方法を模索していく。

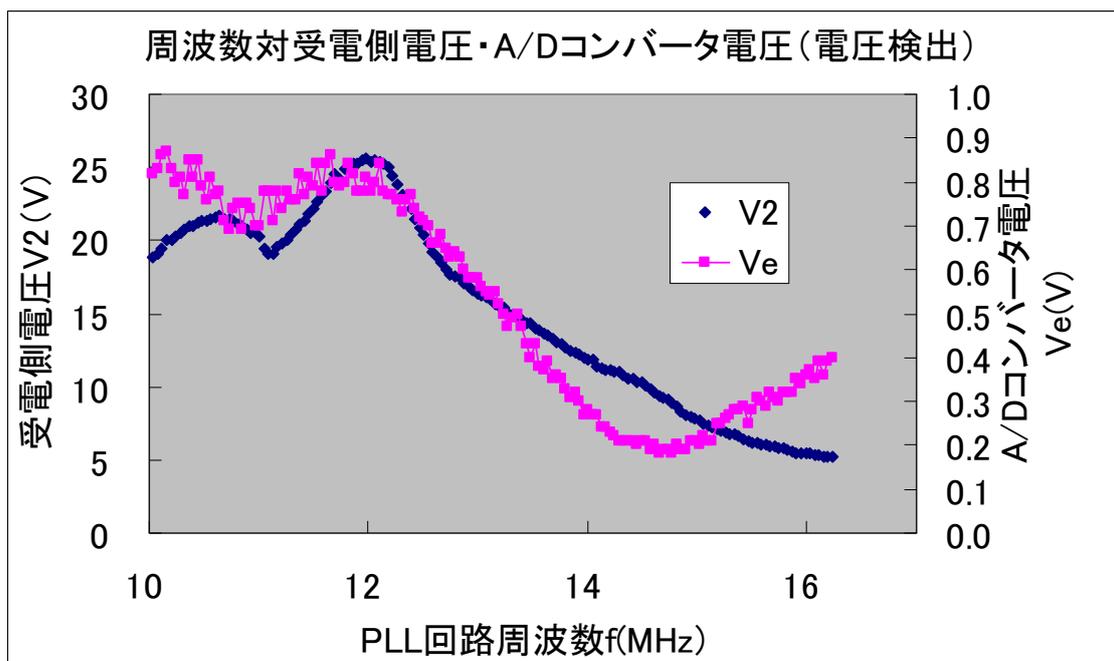


図 2-5-10 周波数対 A/D コンバータ電圧・2次側電圧（電圧検出・電源電圧 3 V）

また、電圧検出回路において、電流検出回路の図 2-5-5 と対比させる意味で、増幅回路への増幅のための入力電圧の増加に対して、その周波数特性が変わるかを測定した(図 2-5-11)。

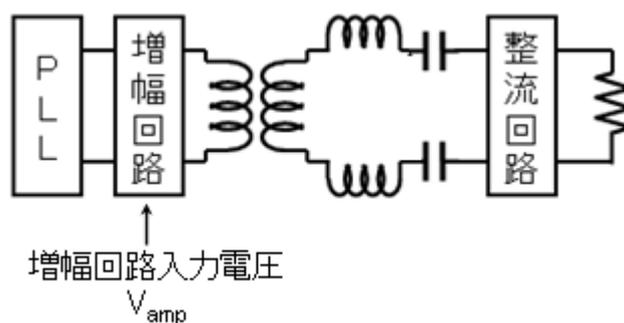


図 2-5-11 増幅回路電圧入力変動回路概要図

図 2-5-12 は増幅回路入力電圧を変化させた場合の、それぞれでの周波数対 A/D コンバータ電圧の特性である。これを見ると、入力電圧の変化に対して各々の周波数特性は大きく変動していないことが分かる。増幅回路への入力電圧を変化させて周波数特性が変わらないということは、無線電力供給中に入力電圧を変えられる、つまり、供給能力を直接的に変化させることが出来るということである。これにより、無線電力供給システム立ち上げ時に誤給電を防ぐために、立ち上げ直後から徐々に電力供給量を上げながら ID 交換を行うようにするというような利用方法が出来る。また、受信側デバイスに電力が供給過多である場合に、もしくは供給不足である場合に、この入力電圧を直接変化させて、供給能力を変化させるというような利用法も出来る。

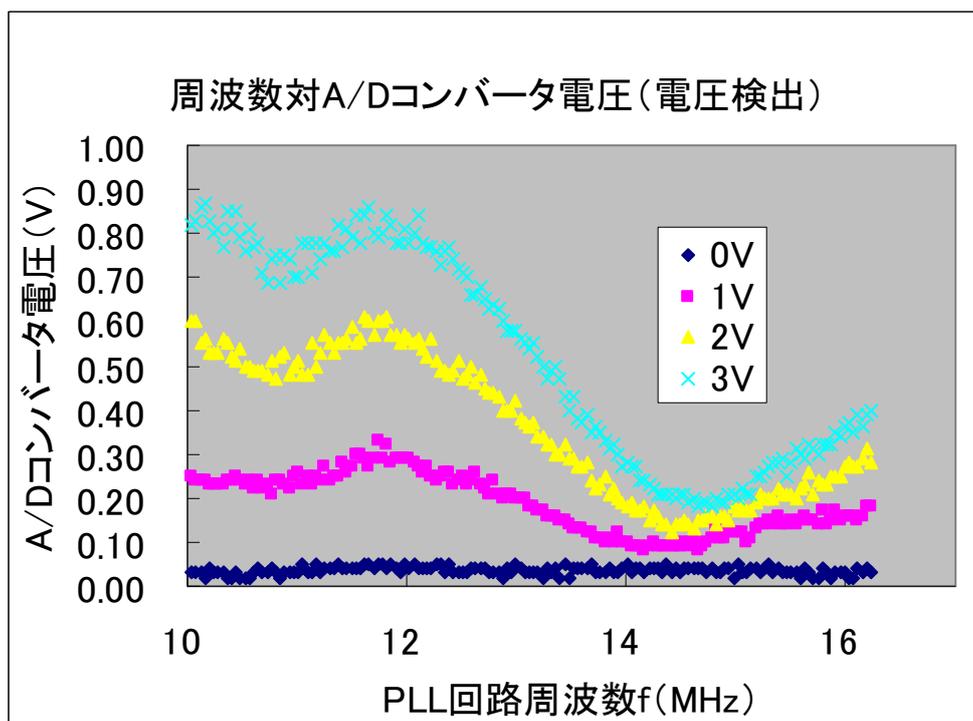


図 2-5-12 周波数対 A/D コンバータ電圧 (増幅回路電圧変化)

2-6 共振制御および異常検知ファームウェア実装試作

2-6-1 通信機能

後述の機能追加、改造に伴い、PC のシリアルコンソールから操作するメンテナンスメニューを下記のように改める。

表 2-6-1 メンテナンスメニューの変更

メニュー項目	変更区分	詳細
[1] Show Current Status	—	
[2] Read ADC	—	
[3] Up PLL Freq	—	
[4] Down PLL Freq	—	
[5] Increase Voltage	変更	内部処理は従来と同じく 1V 刻み、実際の出力は後述の電圧制御方式変更に伴い、3, 4, 6, 8, 10, 15V となるよう変更
[6] Decrease Voltage	変更	
[7] Scan Test	—	
[8] Change Parameter	—	
[9] Measure Voltage with Trigger Signal	—	
[A] Control Algorithm TEST	—	
[B] Extremum Seeking TEST	—	
[C] View Control Log	—	

[F]Change Peak Search and Follow Algorithm	追加	共振周波数追従アルゴリズムを従来方式、改良方式で切り換える（エラー！参照元が見つかりません。エラー！参照元が見つかりません。参照）
[G]Change Proximity Detection Algorithm	追加	共振周波数探索アルゴリズムを従来方式、改良方式で切り換える（エラー！参照元が見つかりません。エラー！参照元が見つかりません。参照）
[H]Main AMP Power ON/OFF	追加	メインアンプの ON/OFF を切り替える（0 2-6-4 入力電圧制御方式の変更 参照）
[I]Pre AMP Power ON/OFF	追加	プリアンプの ON/OFF を切り替える（0 2-6-4 入力電圧制御方式の変更 参照）
[ESC]Exit Menu	変更	メンテナンスメニューを終了する

変更モジュールを以下に示す。

表 2-6-2 メンテナンスメニュー変更モジュール

No	ファイル名	関数名	概要
1	wipot_mnt.c	mainte_menu	メンテナンスメニュー処理関数

2-6-2 共振周波数探索機能 ～改良型近接検知アルゴリズムの追加～

二次側電極の近接を検知するフェイズにおいて、高周波数側から低周波数側へ向けての、等周波数間隔の電流値スキャン方式に加え、周波数領域を高周波数側、低周波数側に二分し、電流値をピーク探索する「黄金分割探索アルゴリズム」を追加する。

従来の近接検知アルゴリズムの動作概要を図 2-6-1 に示す。

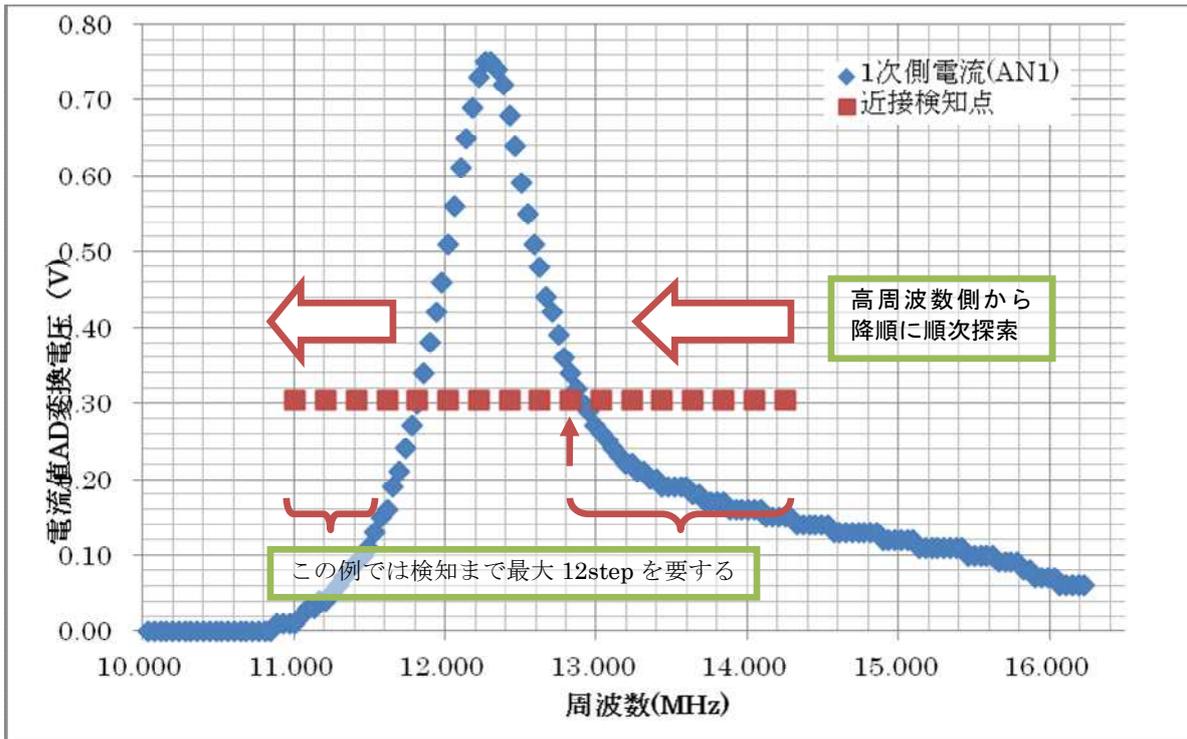


図 2-6-1 従来の近接検知アルゴリズム

対して、黄金分割探索アルゴリズムの動作概要を以下に示す。

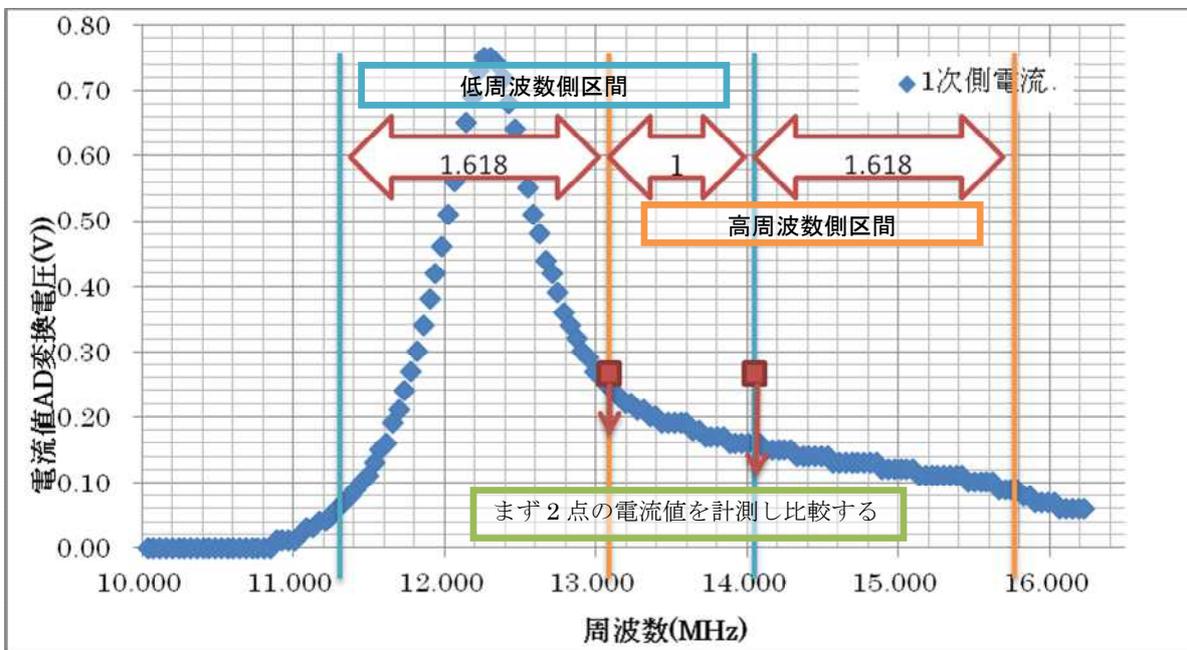


図 2-6-2 黄金分割探索 step1

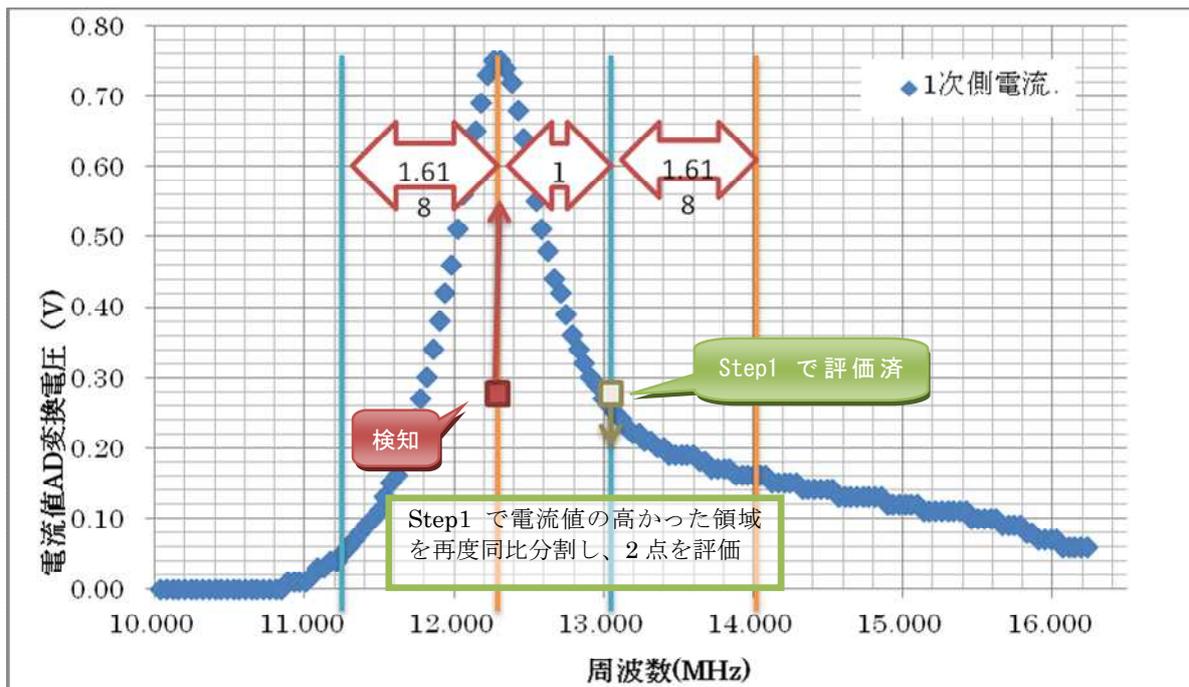
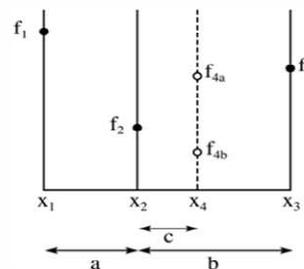


図 2-6-3 黄金分割探索 step2

周波数区間の分割に関しては以下の法則で行う。この利点は区間を縮小し再度評価を行う際、新たに1点のみを計測すれば良く、効率的な探索が行えることにある。

- 未知関数 f の極値を、特定区間内2点の値 $f(x)$ の評価に基づいて区間縮小しながら探索する。
- 評価点の選択に、区間縮小後も間隔の比が一定であるという制約を置く。



$$\begin{cases} \frac{c}{a} = \frac{a}{b} \\ \frac{c}{(b-c)} = \frac{a}{b} \end{cases} \Rightarrow \left(\frac{b}{a}\right)^2 = \left(\frac{b}{a}\right) + 1$$

$$\Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1.618033988 \dots$$

図 2-6-4 黄金分割探索アルゴリズム

上記の図 2-6-2 及び図 2-6-3 に示した例では step2 までで3つの異なる周波数での電流値の計測で近接閾値の電流値を検出可能で、従来の方式より迅速な近接検知が可能となる。

尚このアルゴリズムに関しては新ハードの特性により従来のものと切り替え可能とする。制御ファームウェア起動時の初期状態は今後の特性の計測により、より適したものを選択することとする。

変更モジュールを以下に示す。

表 2-6-3 近接検知アルゴリズム追加変更モジュール

No	ファイル名	関数名	概要
1	wipot_algo.c	alg_pd_liner_descend	線形順次探索方式近接検知アルゴリズム関数（新規追加）
2	wipot_algo.c	alg_pd_goldsection	黄金比分割探索方式近接検知アルゴリズム関数（新規追加）
3	wipot_algo.c	detect_receiver	近接検知処理(Phase2)関数（変更）

2-6-3 周波数追従機能 ～改良型共振周波数探索追従アルゴリズムの追加～

共振状態を維持するための最適な周波数に追従するための摂動アルゴリズムに改良を加える。摂動とは周波数を一定振幅で高周波数側、低周波数に振りながら、電流値を計測し、より高効率の電流値ピーク周波数を探索するものである。

このアルゴリズムをさらに高度化するため、一定であった振幅を状況に応じて変化させるものに改良する。具体的には電流値が低い場合の摂動振幅を大きくし、より速やかに電流ピーク周波数への収束を可能に、電流値が高い場合の摂動振幅を小さくし、より安定した細かいピーク追従を可能とする。

従来アルゴリズムとの比較を以下に示す。

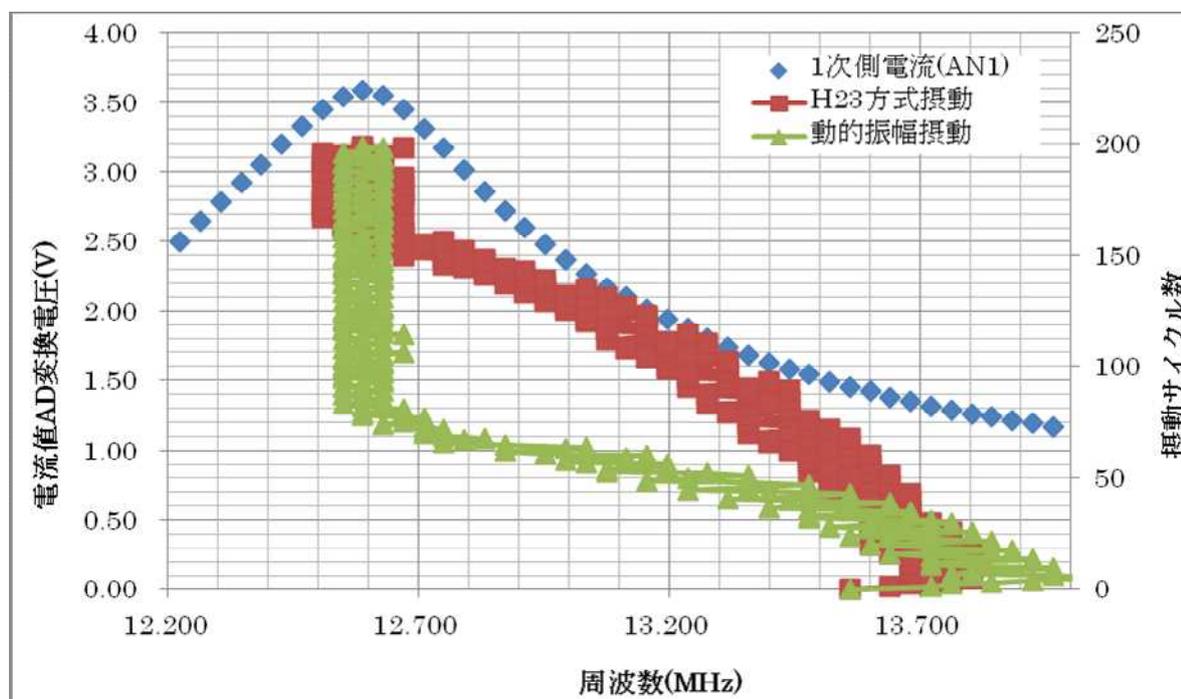


図 2-6-5 摂動アルゴリズム動作比較

図 2-6-5 から分かるように電流値を摂動振幅にフィードバックさせたアルゴリズムの方が共

振点への収束サイクル数が少なく、より速やかに追従が可能である。

具体的なアルゴリズムの改良点を以下に示す。

- 電流値をAD変換して得られる電圧の最大値は決っている（そのようにハード側で調整）ためそれを上限として摂動振幅を反比例させる

$$\text{摂動振幅} = \sin(\theta) \times 4.0 \times \frac{V_{\max} - V_{\text{AD}}}{V_{\max}}$$

$$\theta = 500[\text{rad/s}] \times 0.003[\text{s/step}]$$

$$V_{\max} = \text{AD 変換電圧の上限値} = 5.0[\text{V}]$$

$$V_{\text{AD}} = \text{電流値を AD 変換した電圧値}[\text{V}]$$

従来はこの部分が 2.0 で固定

図 2-6-6 摂動振幅の動的制御

変更モジュールを以下に示す。

表 2-6-4 共振周波数探索追従アルゴリズム追加変更モジュール

No	ファイル名	関数名	概要
1	Subsystem.c	Subsystem_step	摂動アルゴリズム関数（変更）

2-6-4 入力電圧制御方式の変更

新ハードにて入力電圧の制御方式が変更となる。これに対応し共振制御ファームウェアでも電圧の制御を下記のように変更する。

表 2-6-5 従来の電圧制御方式

I/O ポート	端子機能	Active	出力
PA18	V_SELECT1	High	PA21 を MSB とする 4 ビット値で入力電圧を指定
PA19	V_SELECT2	High	
PA20	V_SELECT3	High	
PA21	V_SELECT4	High	

表 2-6-6 新ハード電圧制御方式

I/O ポート	端子機能	Active	出力
PB15	MAIN_OFF	High	メインアンプ出力 OFF
PB16	PREAMP_OFF	High	プリアンプ出力 OFF
PB18	V_SELECT1	High	メインアンプ 3V 出力を選択
PB19	V_SELECT2	High	メインアンプ 4V 出力を選択
PB20	V_SELECT3	High	メインアンプ 6V 出力を選択
PB21	V_SELECT4	High	メインアンプ 8V 出力を選択
PB22	V_SELECT5	High	メインアンプ 10V 出力を選択
PB23	V_SELECT6	High	メインアンプ 15V 出力を選択

変更モジュールを以下に示す。

表 2-6-7 入力電圧制御方式変更モジュール

No	ファイル名	関数名	概要
1	wipot_algo.c	tune_voltage	供給電圧調整処理関数 (変更)
2	wipot_firm.c	wipot_init	初期設定関数 (変更)
3	wipot_firm.c	contvol_dcde	電圧(DCDC 切替)設定関数 (変更)
4	wipot_firm.c	readvol_dcde	電圧(DCDC 切替)読出関数 (変更)
5	wipot_mnt.c	mainte_menu	メンテメニュー関数 (変更)

2-7 共鳴方式無線電力伝送システム用アプリケーションソフトウェア

無線電力伝送方式に関する研究開発の有効性を実証するため名札アプリケーションとデスクトップアプリケーションの2本のアプリケーションソフトウェアを開発し、デモにより有用性を実証した。(図 2-7-1)

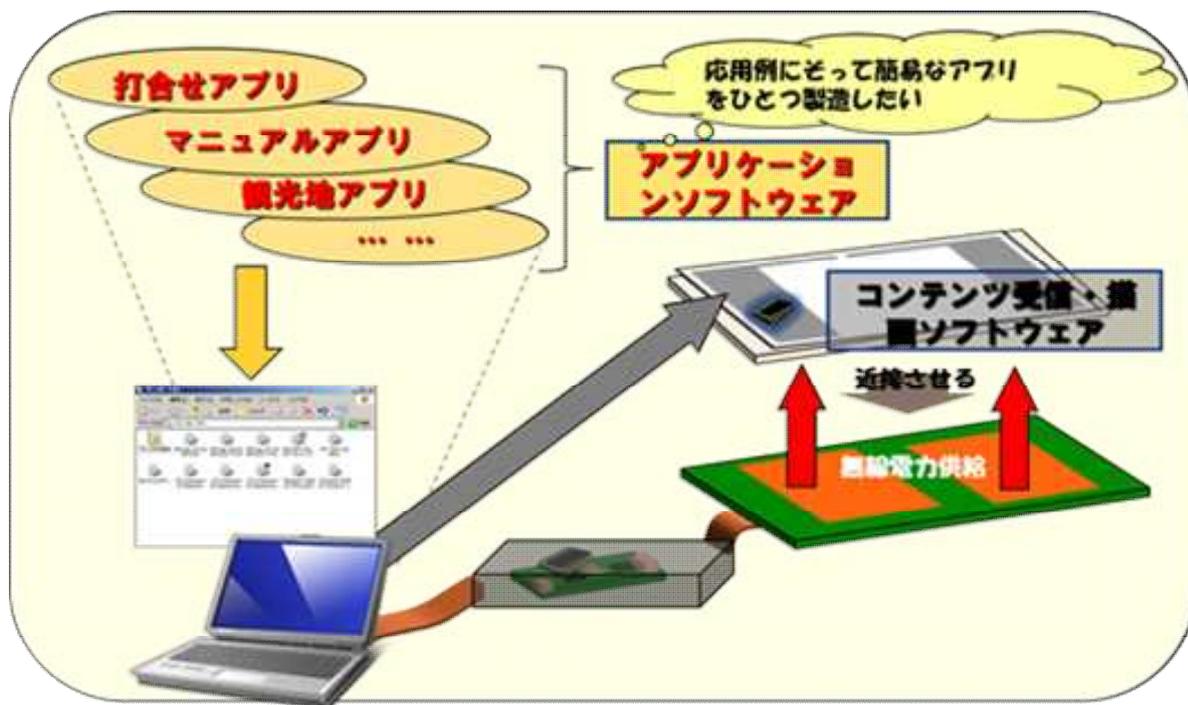


図 2-7-1 アプリケーションソフトウェアの開発

2-7-1 動作環境及び開発環境

当設計書に記載するソフトウェアの動作環境及び開発環境を表 2-7-1 に示す。

表 2-7-1 動作環境及び開発環境

種別	項目	備考
動作環境ハードウェア	WindowsPC	
動作環境 OS	WindowsXP SP3 32bit	
開発言語	Microsoft Visual C++ Microsoft VisualBasic.NET	
開発環境	Microsoft Visual Studio 2010	
データベース	Microsoft Access	

2-7-2 名札アプリケーション

4 インチ電子ペーパー端末を、入室カード機能を具備した来客用名札として利用するデモンストレーションを行うアプリケーションとする。その機能は以下のとおりである。

<機能>

- 任意の画像を 4 インチ電子ペーパー端末に印刷し、名札発行を行う
- 個々の電子ペーパー端末を個別の名札として識別する
- 来客訪問先部屋の入室許可を管理する
- 訪問先部屋への入室許可判別シミュレーションを行う
- 発行した名札の有効期限を管理する

- ・名札としての登録を削除する

以下に名札アプリケーションの画面遷移図を示す。

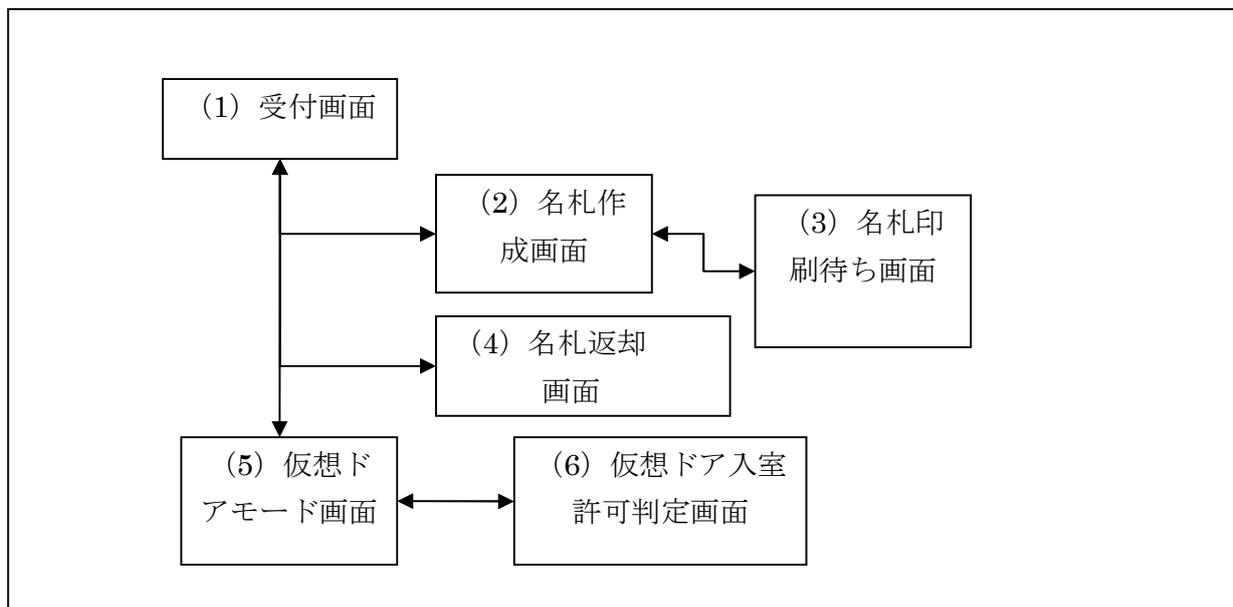


図 2-7-1 名札アプリケーション画面遷移図

(1) 受付画面

アプリケーション起動後、当画面を表示する。画面の概観と機能概要を以下に示す。

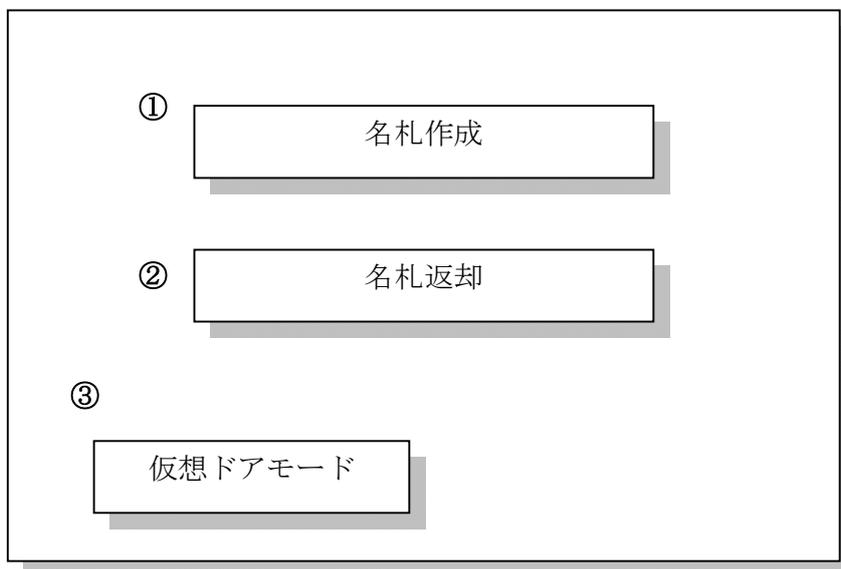


図 2-7-2 受付画面

①名札作成ボタン

押下により名札作成画面に遷移する

②名札返却ボタン

押下により名札返却画面に遷移する

③仮想ドアモード

押下により仮想ドアモード画面に遷移する

(2) 名札作成画面

受付画面で名札作成ボタンを押下すると当画面を表示する。

画面の概観と機能概要を以下に示す。

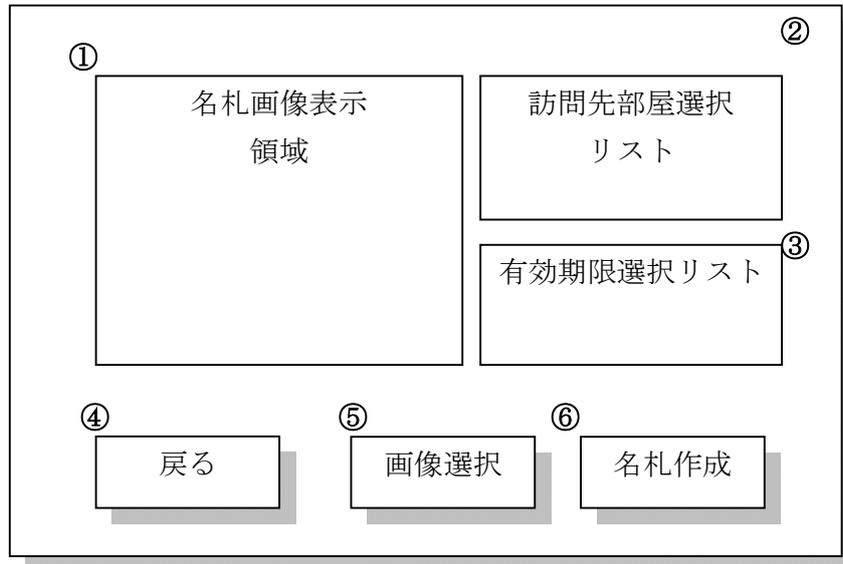


図 2-7-3 名札作成画面

①名札画像表示領域

名札として電子ペーパー端末に表示する画像を表示する。

ドラッグアンドドロップ又は⑤画像選択で選択した任意の画像を

4インチ電子ペーパーサイズである320x240ドットに自動拡大縮小し、表示する

②訪問先部屋選択リスト

訪問先部屋一覧を選択リスト表示する。

部屋は表 2-7-3 のとおりとする。

表 2-7-2 訪問先部屋リスト

No.	部屋名
1	社長室
2	サーバルーム
3	作業室

③有効期限選択リスト

作成する名札の入室許可有効期限の選択リストを表示する

選択肢は表 2-7-4 のとおりとする。

表 2-7-4 有効期限選択リスト

No.	有効期限
-----	------

1	30 秒
2	3 分
3	1 時間
4	3 時間
5	当日中

④「戻る」ボタン

押下により当画面を閉じ、受付画面に遷移する

⑤画像選択ボタン

押下によりファイル選択ダイアログを開き、任意の画像を選択する。

選択された画像ファイルは①名札画像表示領域に表示する。

⑥名札作成ボタン

設定された条件で名札画像を作成し、プリンタドライバへ送出した後、名札印刷待ち画面へ遷移する。

(3) 名札印刷待ち画面

名札作成画面で、名札作成画面を押下すると当画面を表示する。

画面の概観と機能概要を以下に示す。

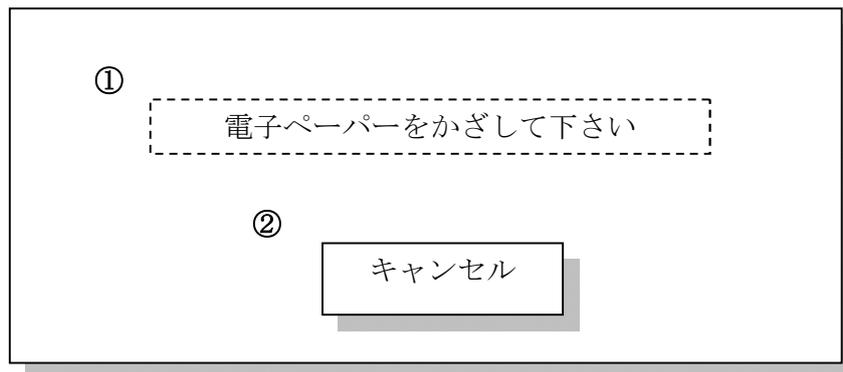


図 2-7-4 名札印刷待ち画面

① 刷待ちメッセージ表示

電子ペーパー端末を電力伝送装置の電極版上にかざすことを促すメッセージを表示する。

② キャンセルボタン

ボタン押下により印刷をキャンセルし、名札作成画面に戻る。

処理概要は、以下のとおりである。

①電子ペーパー端末と名札情報の管理

電子ペーパーを送電電極にかざし、プリンタドライバとの通信が確立されると、電子ペーパー端末側から、端末固有の ID が送信されてくる。ここで、この電子ペーパー端末 ID と 0名札作成画面で選択した以下の情報をデータベースへひも付けし記録する。

表 2-7-5 データベース情報

No.	項目	
1	電子ペーパー端末 ID	主キー
2	画像ファイル名	
3	訪問先部屋	
4	有効期限	

既にデータベース登録済みの電子ペーパー端末 ID であった場合、メッセージに既に登録済の端末である旨を表示する。

②印刷状況の監視

電子ペーパープリンタの状態を監視し、名札の印刷が完了、またはキャンセルされると当画面を閉じ、名札作成画面に戻る。

(4) 名札返却画面

受付画面で、名札返却ボタンを押下すると当画面を表示する。

画面の概観と機能概要を以下に示す。

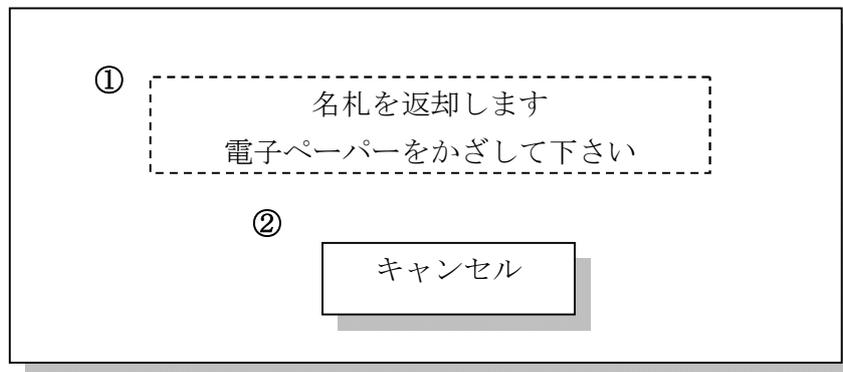


図 2-7-5 名札印刷待ち画面

①印刷待ちメッセージ表示

②キャンセルボタン

ボタン押下により印刷をキャンセルし、受付画面に戻る
処理概要は、以下のとおりである。

①電子ペーパー端末と名札情報の削除

電子ペーパーを送電電極にかざし、プリンタドライバとの通信が確立されると、電子ペーパー端末側から、端末固有の ID が送信されてくる。ここで、この電子ペーパー端末 ID でデータベースを検索し、登録情報を削除する。

該当する電子ペーパー端末 ID が無い場合、未登録端末である旨のメッセージを①のメッセージ領域に表示する。

②名札表示削除

全面白紙の画像データをプリンタドライバへ送出し、かざされた電子ペーパー端末に印刷する。

(5) 仮想ドアモード画面

受付画面で、仮想ドアモードボタンを押下すると当画面を表示する。画面の概観と機能概要を以下に示す。

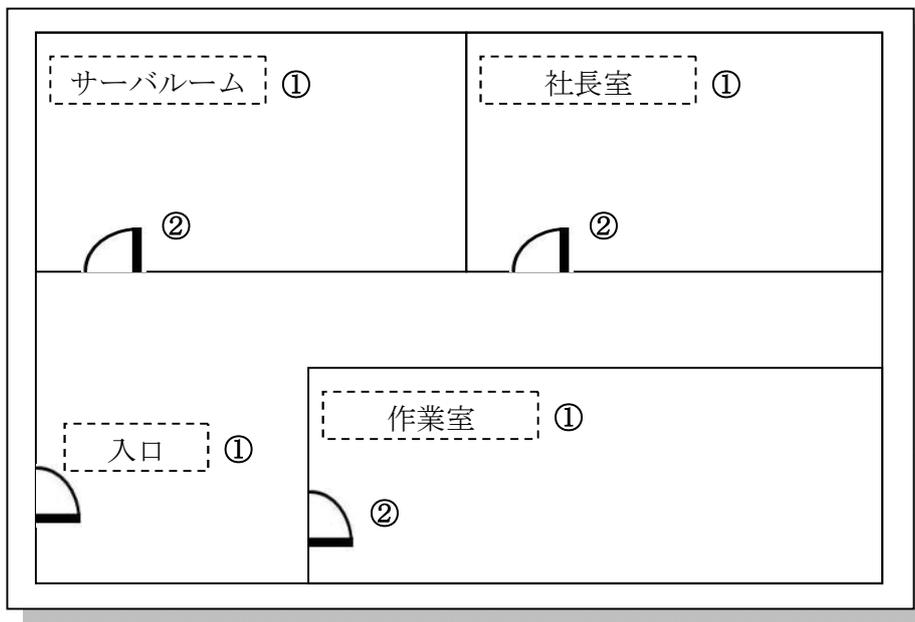


図 2-7-6 仮想ドアモード画面

①部屋名の表示

訪問先の仮想部屋名を表示する

②仮想ドアボタン

当ボタンをマウス左クリックすると、対応した部屋の仮想ドア入室許可判定画面へ遷移する

(6) 入出許可判定画面

仮想ドアモード画面で仮想ドアボタンをマウス左クリックすると当画面を表示する。画面の概観と機能概要を以下に示す。

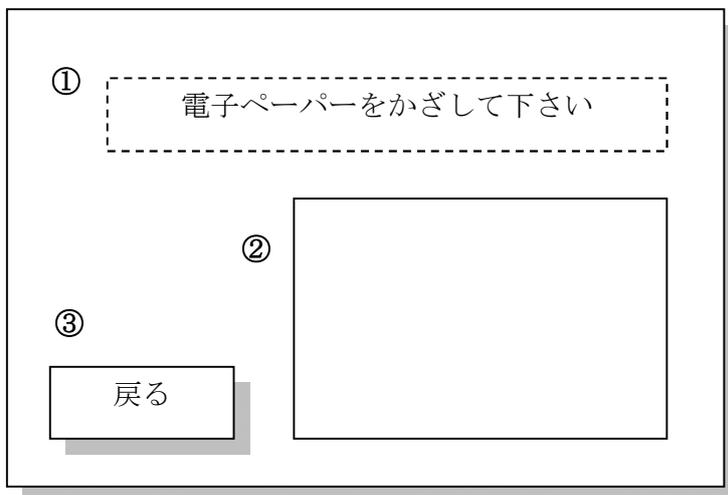


図 2-7-7 入出許可判定画面

①印刷待ち/判定結果メッセージ表示領域

当画面遷移後は電子ペーパーを電力伝送装置の電極版上にかざすことを促すメッセージを表示する。

電子ペーパーをかざすと、プリンタドライバから通知される電子ペーパー端末 ID をデータベース検索し、か否かにより次のとおり表示する

- (A) 記録されている訪問先部屋が、仮想ドアモード画面でクリック選択したドアと一致する場合
 - 入室を許可する旨のメッセージを表示する
- (B) 記録されている訪問先部屋が、仮想ドアモード画面でクリック選択したドアと一致しない場合
 - 入室が許可されない旨のメッセージを表示する
- (C) 有効期限が経過している場合
 - 有効期限切れである旨を表示する。
- (D) データベースに端末 ID の記録が無い
 - 未登録の端末である旨を表示する。

②名札画像表示領域

かざされた電子ペーパーの名札画像に、①のメッセージを重ねて表示する。また、かざされた電子ペーパー端末にその画像を印刷する。

③ キャンセルボタン

ボタン押下により印刷をキャンセルし、受付画面に戻る

2-7-3 名札アプリケーション操作手順

名札アプリケーション操作手順を示す。

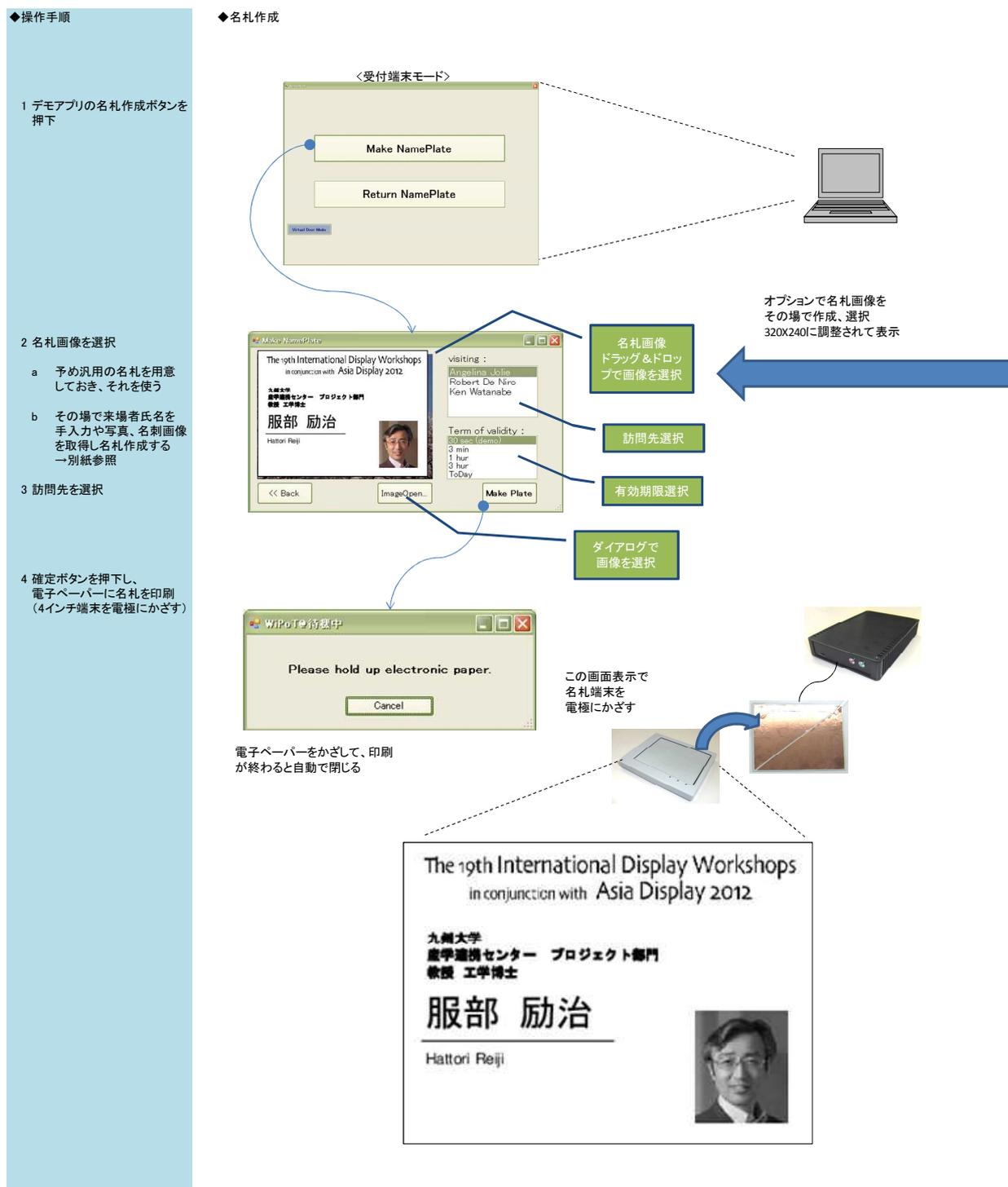


図 2-7-8 (1) 名札アプリケーション操作手順 (1)

- 5 デモアプリを仮想ドアモードにする
- 6 適当なドアをクリック、名札端末を電極にかざし、入出OK/NGを確認（有効期限まで繰り返し可）

◆仮想ドア

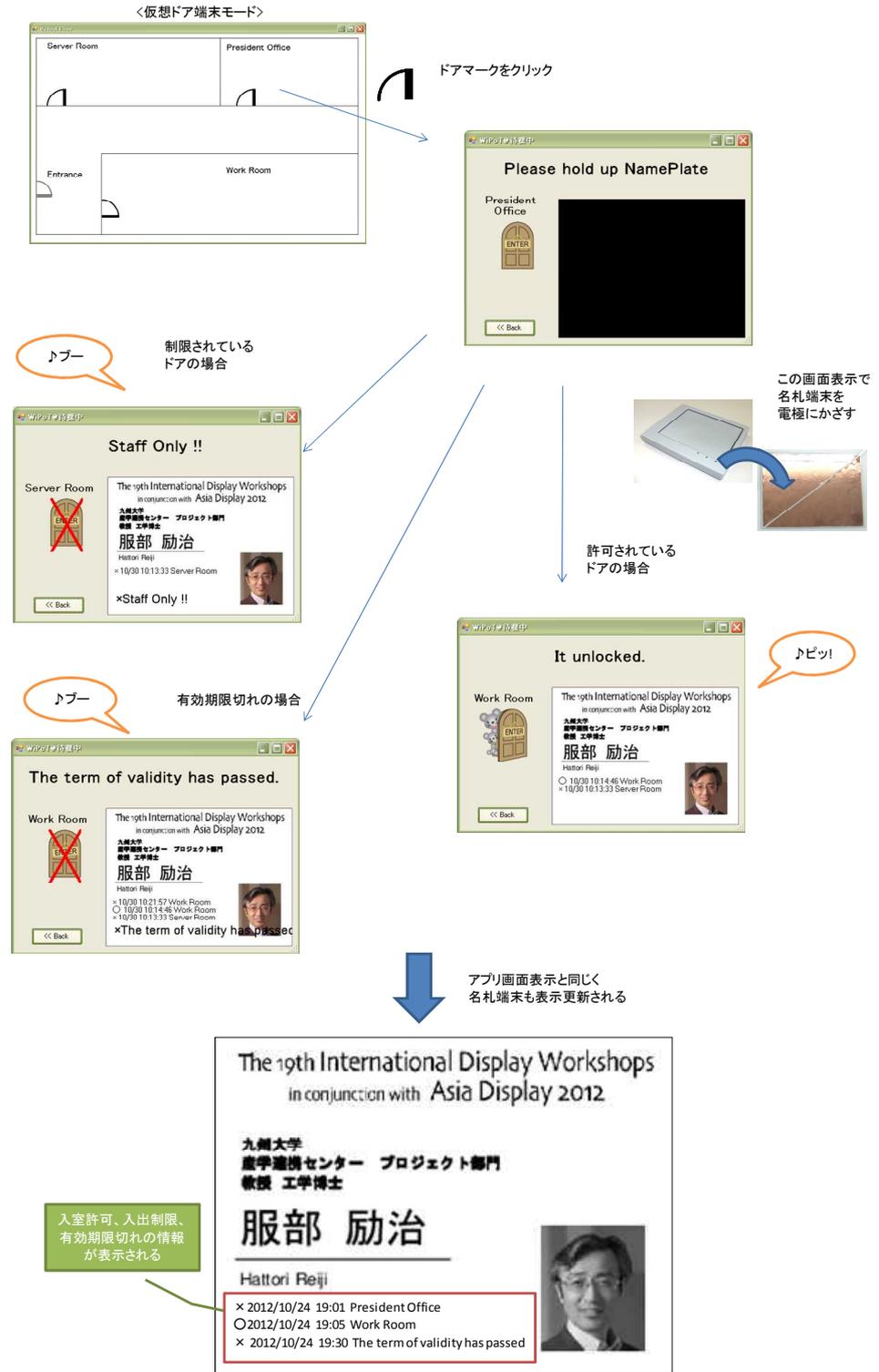
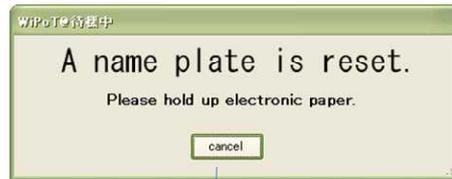


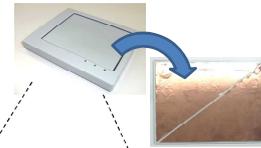
図 2-7-8 (2) 名札アプリケーション操作手順 (2)

7 デモアプリの名札返却を選択、
名札端末を電極にかざし、
表示消去して終了

◆名札返却



この画面表示で
名札端末を
電極にかざす



電子ペーパーをかざすと、登録
名札画像を表示し、印刷完了
後に閉じる

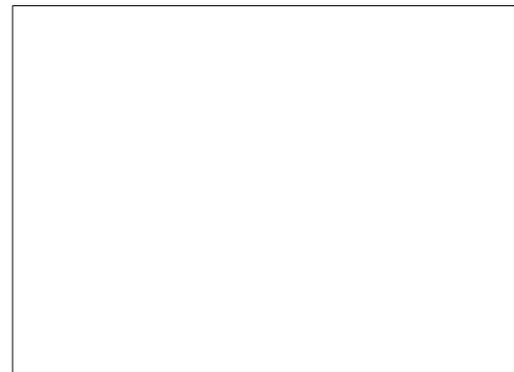


図 2-7-8 (3) 名札アプリケーション操作手順 (3)

◆名札画像作成(オプション)

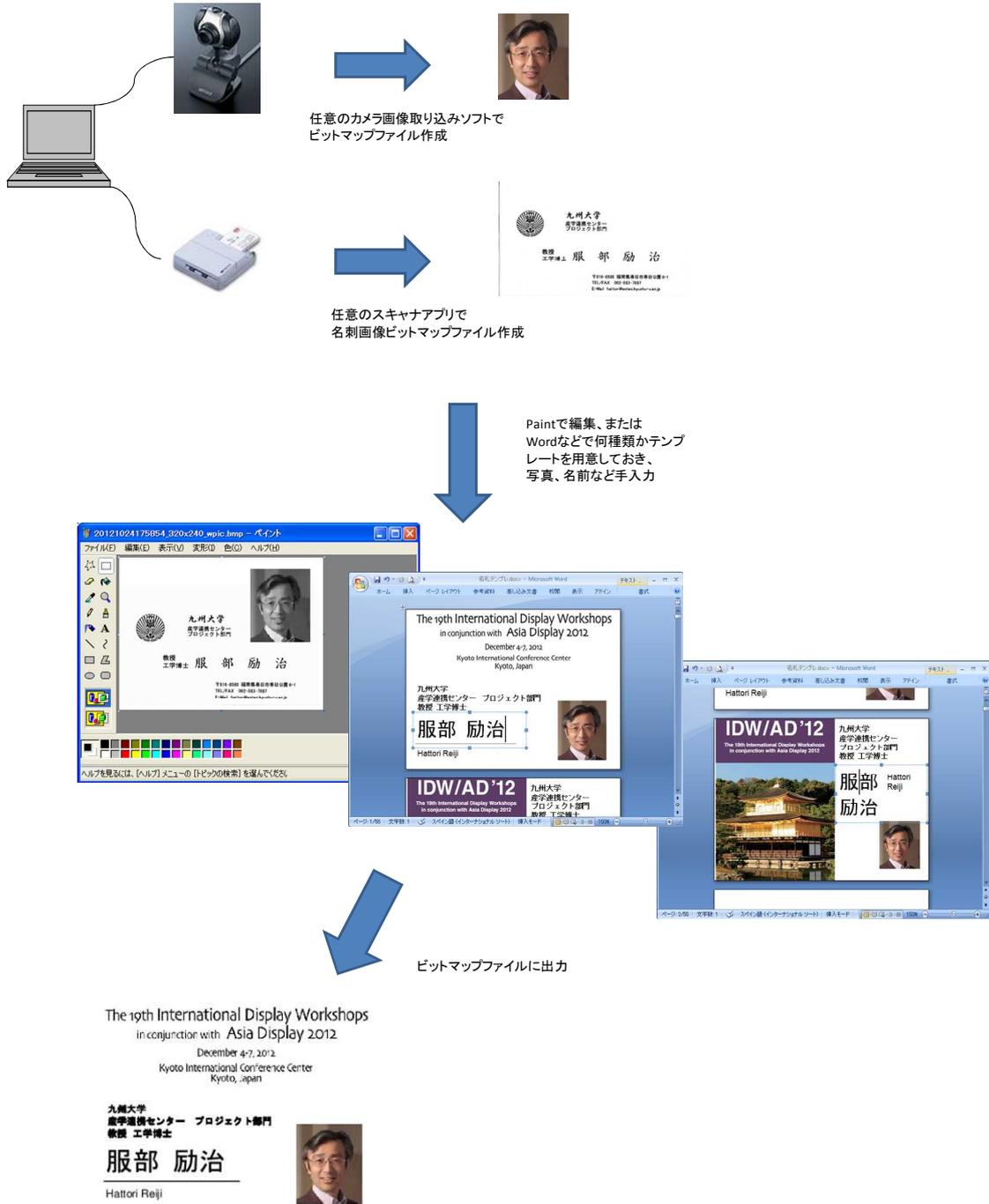


図 2-7-8 (4) 名札アプリケーション操作手順 (4)

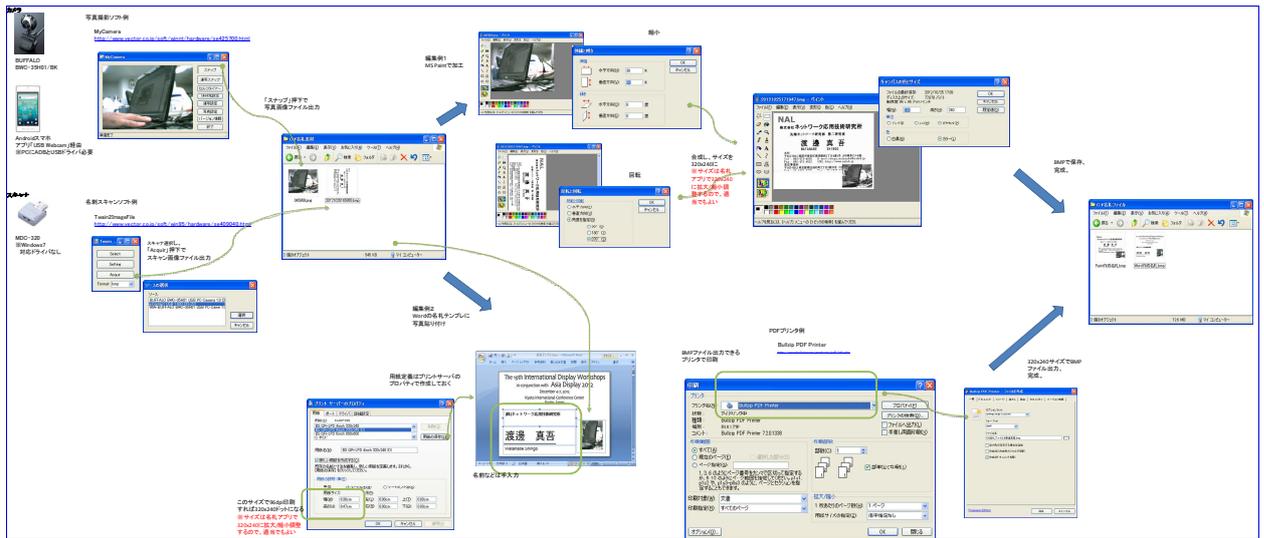


図 2-7-8 (5) 名札アプリケーション操作手順 (5)

2-7-4 デスクトップキャプチャアプリケーション

任意のデスクトップ領域のスクリーンキャプチャを行うアプリケーションとする。

<機能>

- ・デスクトップ画面のビットマップ情報の取り込み
- ・キャプチャサイズ選択
- ・電子ペーパー端末へのキャプチャ画像の印刷

以下にデスクトップキャプチャアプリケーションの画面遷移図を示す。

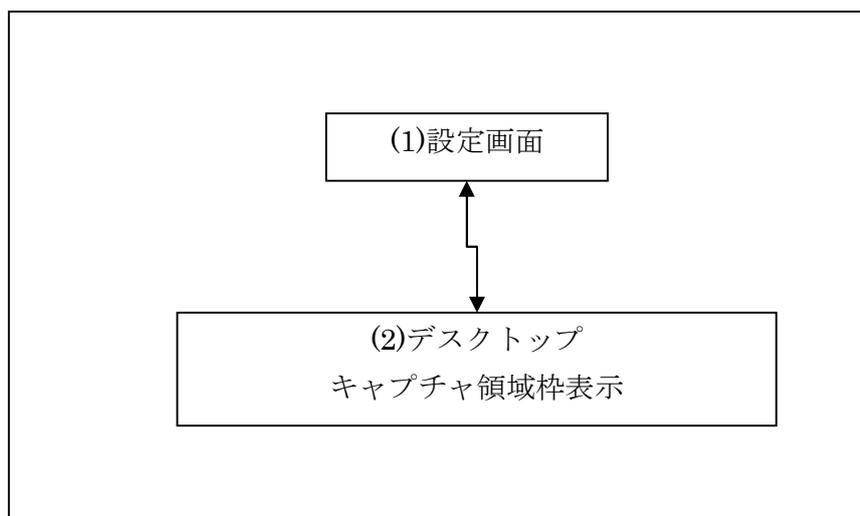


図 2-7-9 名札アプリケーション画面遷移図

(1) 設定画面

アプリケーション起動後、当画面を表示する。画面の概観と機能概要を以下に示す。

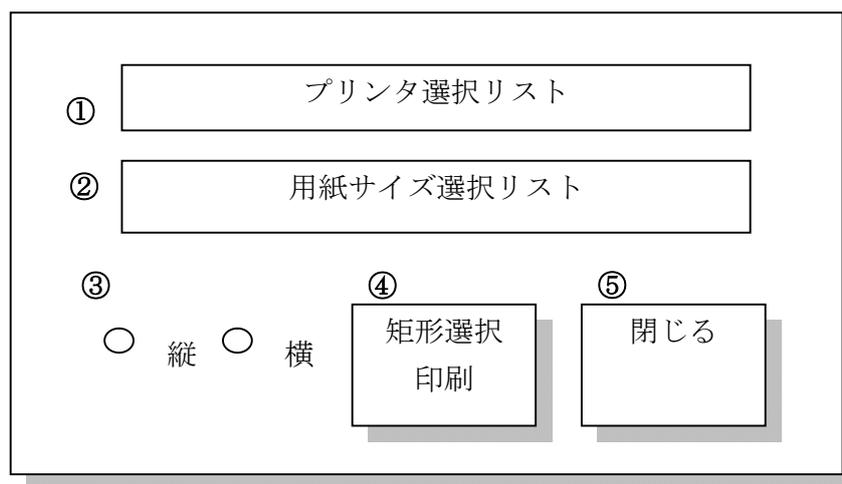


図 2-7-10 設定画面

①プリンタ選択ドロップダウンリスト

デスクトップキャプチャ画像を印刷する電子ペーパープリンタを選択表示する。複数の電子ペーパープリンタが存在する場合、ユーザが任意にプリンタを選択する。

②用紙サイズ選択ドロップダウンリスト

4インチ又は6インチの電子ペーパーサイズを選択表示する。

③縦横選択ラジオボタン

デスクトップキャプチャ枠を②で選択した用紙サイズで縦方向に表示するか、横方向に表示するかをする。

④矩形選択印刷ボタン

当画面で設定した条件で、キャプチャ領域枠を表示する。

⑤閉じるボタン

アプリケーションを終了する。

(2) デスクトップキャプチャ領域枠表示

設定画面で矩形選択印刷ボタンを押下することにより、デスクトップにキャプチャ領域枠を表示する。

<処理概要>

- ・設定画面で設定した用紙サイズと方向に応じ、枠を表示する。
- ・マウス移動に従い、デスクトップ上でキャプチャ枠を移動する
- ・マウス左ボタン押下により、枠内のビットマップ画像を取り込み、設定画面で選択した電子ペーパープリンタへ印刷データとして送出し、設定画面へ戻る。

2-7-5 デスクトップキャプチャ操作手順

デスクトップキャプチャ操作手順を以下に示す。

画面キャプチャ

概要：画面上の任意の場所を印刷する

選択されているサイズの矩形を動かして、領域を確定(クリック)



※ショートカットを作成し、起動オプション -once でこの画面を省略できる

用紙サイズと同じサイズの矩形が現れる



こんな感じ

マウスやカーソルキーで矩形を動かし、クリックかEnterキーでその領域を印刷する



ショートカットの例



図 2-7-10 デスクトップ操作手順

2-8 ソフトウェアプラットフォーム開発

2-8-1 今年度の取り組みの目的と背景

近年の複雑化するソフトウェア開発では従来から使われてきた開発手法、方法論では課題の解決に不十分であることが分かってきた。これには開発技術が発展途上であって、オブジェクト指向やコンポーネント指向などに代表される開発手法・方法論、が現場での製品開発作業の一部しかカバーしていないことなどが原因としてあげられる。

現実社会の製造業の製品は組み込み・リアルタイムシステムであり、ライフサイクルが長く、新規の開発よりも改修・保守による製品開発が多い。またリアルタイム性、フォールトトレランス性など難度の高い高品質性が要求される。プロダクトラインエンジニアリングではこういった要求に対し、ソフトウェアの資産化や再利用、カスタマイズによってより効率的に製品を開発していくアプローチを支援する手法である。

今年度の当研究サブテーマでは共鳴方式無線電力伝送装置の将来的な製品開発で必要となるであろう、バリエーション化、シリーズ化の要求に対し効率的開発を行う手法について、電子ペーパー描画ソフトウェア（ファームウェア）開発へ適用し、プロダクトラインエンジニアリングの再利用戦略である以下の手法の有効性を実証した。

- ・問題領域の分析を行うドメインエンジニアリングプロセスの手法としてのフィーチャ指向アプローチ
- ・分析されたドメイン固有の問題解決を行うアプリケーションエンジニアリングプロセスの手法の一つである DSL (Domain Specific Language) を用いた開発

2-8-2 MetaEdit+によるモデリング開発実践

(1) 無線電力伝送電子ペーパー表示システムのフィーチャ分析

今年度のハードウェアが決まったところで、昨年度同様にフィーチャ分析を実施した。ポイントは将来のプロダクト展開の際、モデル開発手法を適用することで、効率的なプロダクトバリエーション開発が行える分岐点を見出すことである。

昨年度のフィーチャ分析をアップデートし、下図のとおり電子ペーパーパネルのバリエーションに着目した。

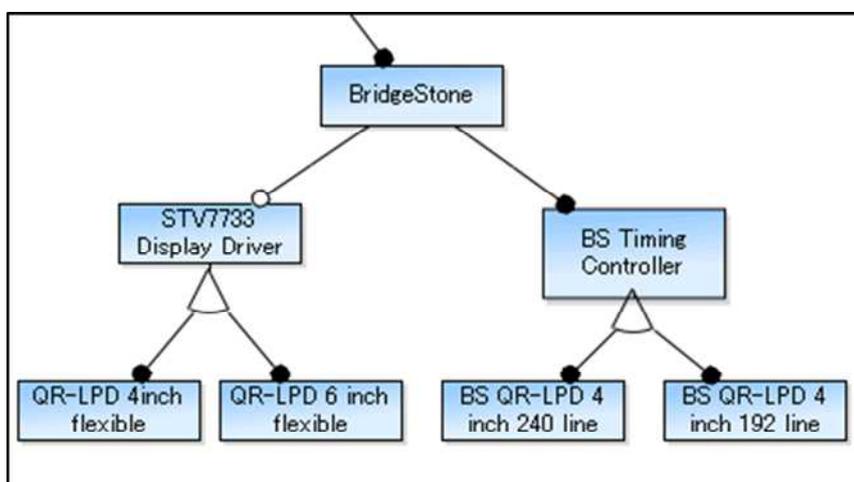


図 2-8-1 電子ペーパーパネルのフィーチャ分岐点

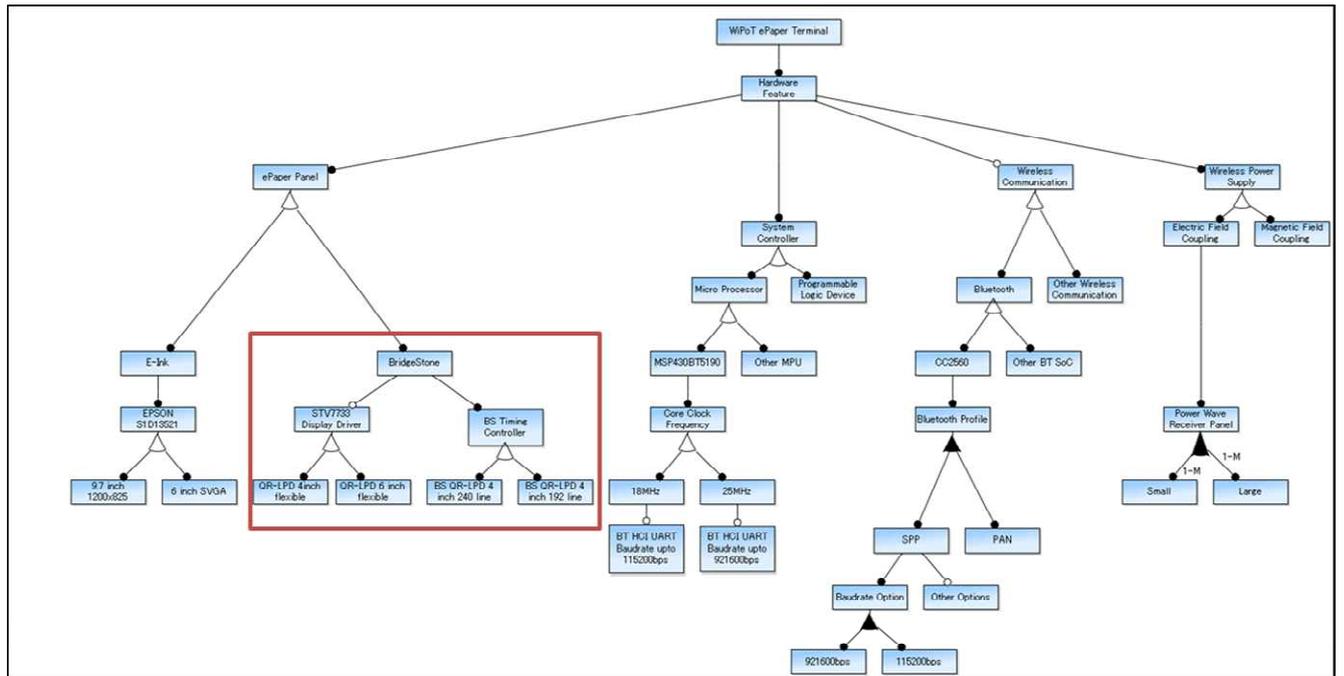


図 2-8-2 電子ペーパー端末ハードウェアフィーチャ分析図

BS 製コントローラは使用せず、パネル駆動ドライバを直接制御するフィーチャを選択、加えて、パネルには4インチ、6インチのバリエーションに対応した。

(2) 電子ペーパーパネルドライバソフトウェアのメタモデリング

ソフトウェアのクラス設計にあたる、メタモデルを作成して、機能、フィーチャなどの設計要素をメタモデルオブジェクトとして表現し、それらのメタオブジェクト間の関係ルールを作成することで設計、アーキテクチャを定義した。(図 2-8-3)

これは、DSL 開発における、ドメイン固有言語ツールの設計にあたる。

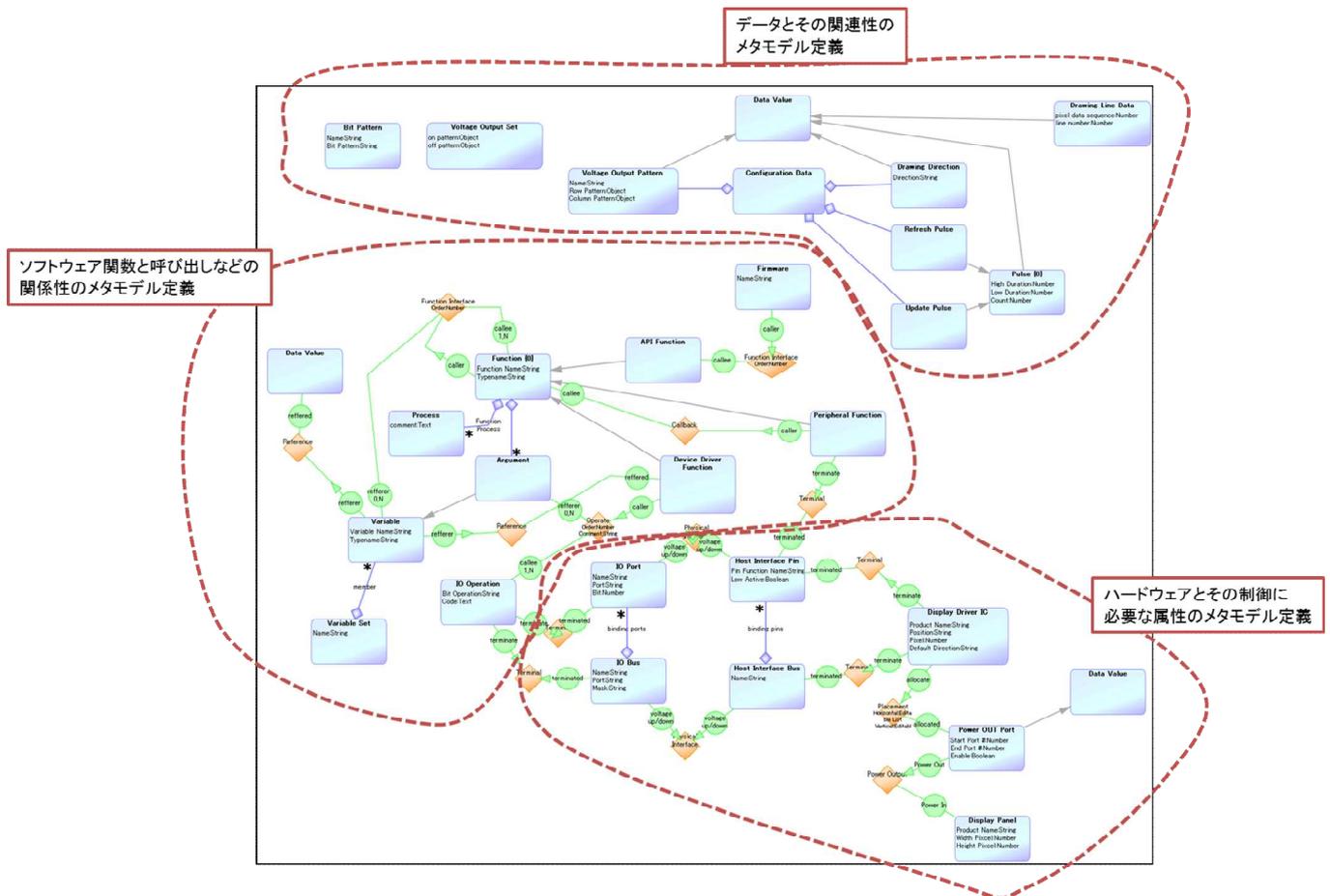


図 2-8-3 メタモデル定義

2-8-3 4インチパネル制御ソフトウェアドライバのモデル作製

メタモデルからモデリングダイアグラムを生成、メタモデルで作成した関数クラス、ハードウェアクラスからそのインスタンスとしての実オブジェクトモデルを作成し、関数呼び出しやデータ参照などの関係で結びつけて、目的のソフトウェアのモデルダイアグラムを作成した。これは、従来開発の工程でいう詳細設計、製造工程であり、このモデリング環境が電子ペーパー制御ソフトウェアドライバ開発のDSL ツールとなるものである。(図 2-8-4)

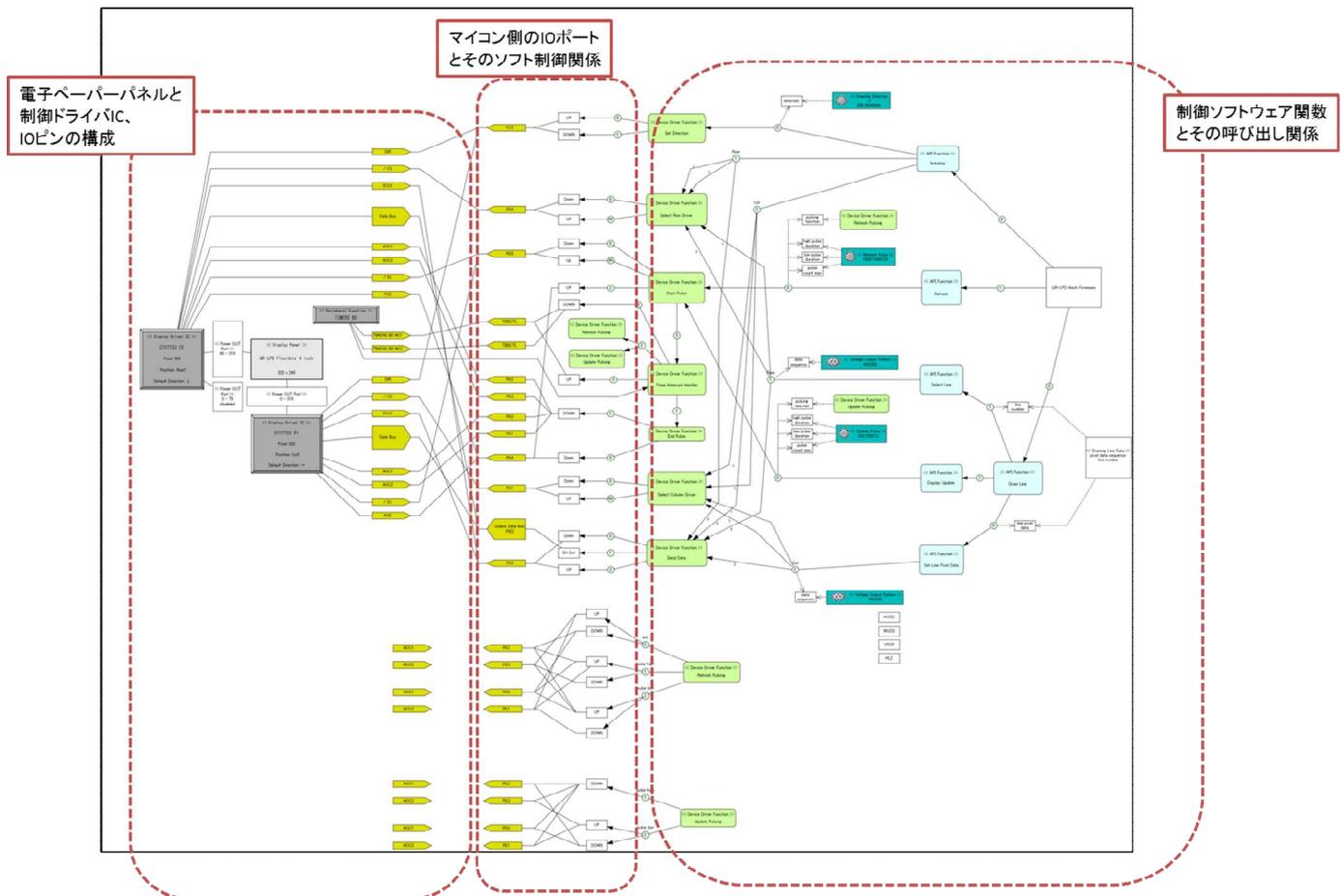


図 2-8-4 電子ペーパー制御ソフトウェア モデル

2-8-4 C 言語コードジェネレータ定義、コード生成

C 言語のプログラムコードを生成するコードジェネレータを記述する。コードジェネレータは作成したモデルのオブジェクトの結びつきを辿り、オブジェクトの属性を参照し、テキストを出力する動きをする。当開発では C 言語プログラムコードを生成するようにジェネレータコードを記述、4 インチ電子ペーパーパネル制御ドライバソフトウェアの C 言語プログラムコードを生成した。下記にコードジェネレータの記述の一部を抜粋する。

(図 2-8-5、図 2-8-6、図 2-8-7、図 2-8-8)

```

Report '_API_Function_Initialize'

@indent = $indent
/*
@indent 'static const char null_pixel[80] = { 0 }:' newline
newline
*/

do ~caller>Function Interface: orderby :Order
{
  /* OのLoop */
  local 'cond' write
  :Loop '#'
  close
  if @cond <> '#' then
    foreach .Display Driver IC
    {
      if :Position =~ @cond then
        /* functionのループ */
        to '%substr' newline :Loop:1 '# ¥ ¥ ¥ #' endto
        @argm = :Position:%substr
        do ~callee:1 : orderby :Order
        {
          do . ()
          {
            if :Function Name: = 'Send Data' then
              @argm = 'null_pixel'
            endif
            $tab :Function Name:%toLower%toUnder '(' @argm ')' : newline
            @argm = '-1'
          }
        }
      endif
    }
    newline
  else
    do ~callee : orderby :Order
    {
      do . ()
      {
        @indent :Function Name:%toLower%toUnder '('
        @comma = ''
        do ~referer:2. Argument
        {
          @comma
          do ~referer>()~().Drawing Direction
          {
            ' ' :Direction ' '
            @comma = ','
          }
        }
        ')' : newline
      }
    }
    newline
  endif
}

endreport

```

モデル上に存在するディスプレイドライバIC
それぞれに対し、パラメタ設定を行う
コードを生成する

当APIモデルから延びる呼び出し関係の
ラインを辿り、関数呼び出しコードを生成する

図 2-8-5 電子ペーパーパネル初期化 API 関数処理のコードジェネレータ定義

```
/******  
 * Initialize  
*****/  
void initialize(  
    void  
)  
{  
    set_direction( DIR_NORMAL );  
  
    select_row_driver( 1 );  
    send_data( null_pixel );  
    select_row_driver( -1 );  
  
    select_column_driver( 1 );  
    send_data( null_pixel );  
    select_column_driver( -1 );  
  
    return;  
}
```

図 2-8-6 出力されたC言語コード

```

Report '_Device_Driver_Function_Select_Column_Driver'

do :Argument
{
  $driver_num = :Variable Name;%toLower%toUnder%toNum
}

@else = ''

do ~caller>Operate: orderby :Order
{
  @indent = $indent

  if :Order = '0' then
    @indent @else 'if ( ' $driver_num ' == 1 ) [' newline
    variable 'indent' append $tab close
    do ~callee.IO Operation
    {
      _io_operate()
    }
    $indent = @indent
    @indent ']' newline
    @else = 'else '
  endif

  if :Order = '1' then
    @indent @else 'if ( ' $driver_num ' == 2 ) [' newline
    variable 'indent' append $tab close
    do ~callee.IO Operation
    {
      _io_operate()
    }
    $indent = @indent
    @indent ']' newline
    @else = 'else '
  endif

  if :Order = '2' then
    @indent @else 'if ( ' $driver_num ' == 3 ) [' newline
    variable 'indent' append $tab close
    do ~callee.IO Operation
    {
      _io_operate()
    }
    $indent = @indent
    @indent ']' newline
    @else = 'else '
  endif

  if :Order = '99' then
    @indent 'else [' newline
    variable 'indent' append $tab close
    do ~callee.IO Operation
    {
      _io_operate()
    }
    $indent = @indent
    @indent ']' newline
  endif
}

newline

endreport

```

モデル上のIO制御ラインを辿り、
IOポートのHigh/Lowを切り替える
コードを生成する

図 2-8-7 電子ペーパーパネル制御ドライバ IC の IO 制御関数を生成するコードジェネレータ定義

```

/*****
 * Select Row Driver
 *****/
void select_row_driver(
    int row_driver_num
)
{
    if ( row_driver_num == 1 ) {
        DOWN( CS_ROW1_OUT, CS_ROW1_BIT );
    }
    else {
        UP( CS_ROW1_OUT, CS_ROW1_BIT );
    }
}

return;
}

```

図 2-8-8 出力された C 言語コード

2-8-5 4インチパネルドライバのモデルベースの6インチパネル作成

モデリング環境を DSL ツールとして使用するエンハンス開発段階においては、ジェネレータを定義済みなので、モデルを6インチ向けに改造、作成することで6インチ用のC言語プログラムコードが自動生成できる。

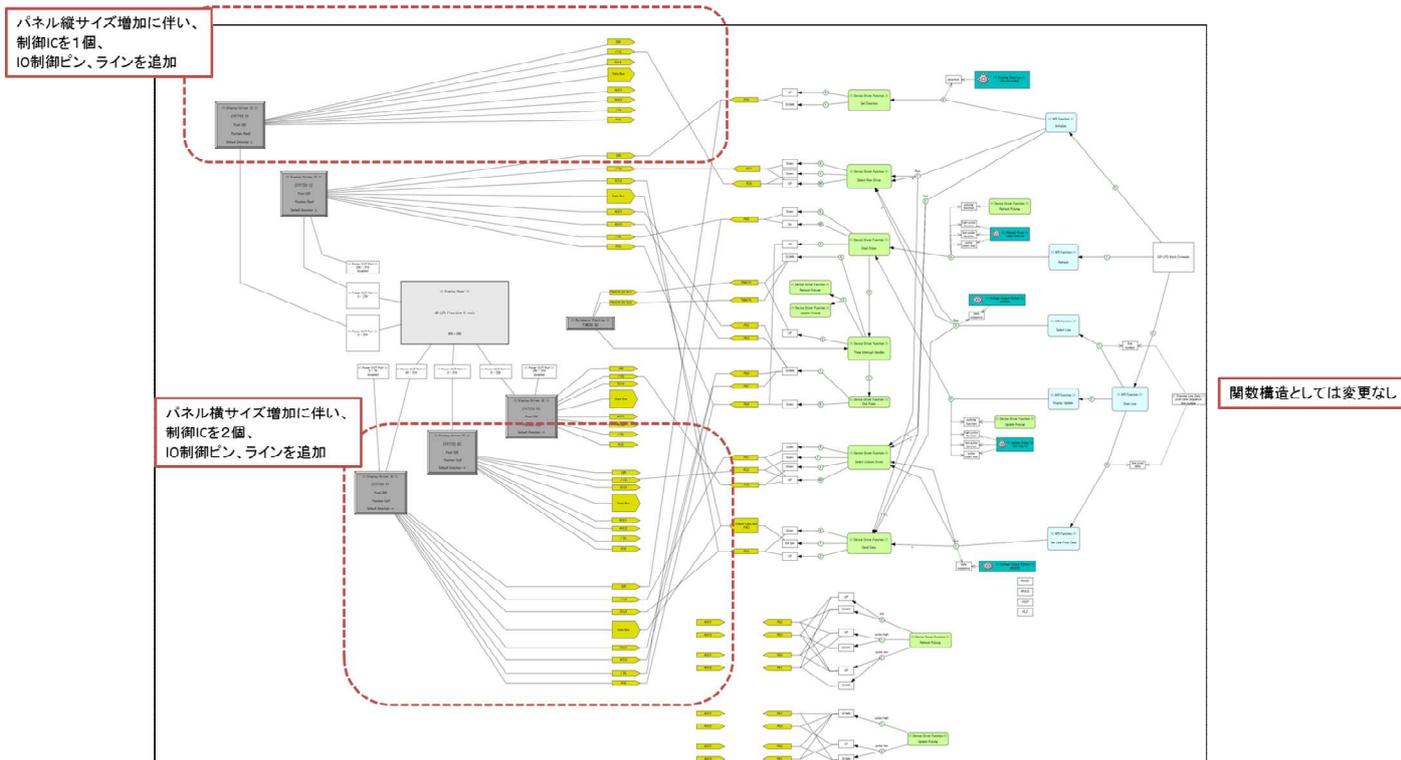


図 2-8-9 6インチパネル モデル

(1) コード生成、動作確認

一部ジェネレータの修正が必要であったが、ほぼモデル変更のみで6インチ対応コードを生成でき、6インチ電子ペーパー端末のファームウェアに組み込み、動作を確認した。

(図 2-8-10、図 2-8-11、図 2-8-12、図 2-8-13)

```

/*****
 * Initialize
 *****/
void initialize(
    void
)
{
    set_direction( DIR_NORMAL );

    select_row_driver( 1 );
    send_data( null_pixel );
    select_row_driver( -1 );

    select_column_driver( 1 );
    send_data( null_pixel );
    select_column_driver( -1 );

    return;
}

```

図 2-8-10 4インチ版パネル初期化 API 関数



```

/*****
 * Initialize
 *****/
void initialize(
    void
)
{
    set_direction( DIR_REVERSE );

    select_row_driver( 2 );
    send_data( null_pixel );
    select_row_driver( -1 );
    select_row_driver( 1 );
    send_data( null_pixel );
    select_row_driver( -1 );

    select_column_driver( 1 );
    send_data( null_pixel );
    select_column_driver( -1 );
    select_column_driver( 2 );
    send_data( null_pixel );
    select_column_driver( -1 );
    select_column_driver( 3 );
    send_data( null_pixel );
    select_column_driver( -1 );

    return;
}

```

モデル上のドライバ追加に対応し、
制御呼び出しが追加される

図 2-8-11 6インチ版パネル初期化 API 関数

```

/*****
 * Select Row Driver
 *****/
void select_row_driver(
    int row_driver_num
)
{
    if ( row_driver_num == 1 ) {
        DOWN( CS_ROW1_OUT, CS_ROW1_BIT );
    }
    else {
        UP( CS_ROW1_OUT, CS_ROW1_BIT );
    }

    return;
}

```

図 2-8-12 4インチ版パネルドライバ IC 制御関数



```

/*****
 * Select Row Driver
 *****/
void select_row_driver(
    int row_driver_num
)
{
    if ( row_driver_num == 1 ) {
        DOWN( CS_ROW1_OUT, CS_ROW1_BIT );
    }
    else if ( row_driver_num == 2 ) {
        DOWN( CS_ROW2_OUT, CS_ROW2_BIT );
    }
    else {
        UP( CS_ROW2_OUT, CS_ROW2_BIT );
        UP( CS_ROW1_OUT, CS_ROW1_BIT );
    }

    return;
}

```

モデル上のドライバIC追加に対応し、
制御構造が追加される

図 2-8-13 6インチ版パネルドライバ IC 制御関数

2-8-6 モデル駆動開発効率の分析

(1) 従来の開発手法の場合の開発工数

従来の開発手法を採用した場合の開発工数について、算出した。結果を以下に示す。

表 2-8-1 従来の開発手法の場合の開発工数

開発条件	(1) 4 インチファーム 新規開発	(2) 4 インチ版に 6 イ ンチ対応コードを 追加	(3) 【推定】 4 インチ版に 6 イ ンチ対応コードを 追加
担当者	A	A	B
設計 (人日)	15	10	30
製造 (人日)			
単体試験 (人日)			
結合試験 (人日)	3	3	3
合計 (人日)	18	13	33

担当者は、以下の 2 タイプ。

A：ドメイン（電子パーパーファームウェア）の知識を持った技術者

B：ドメイン知識なしの C 言語プログラマを想定

なお、(1)、(2)についてはおおよその実工数であり、(3)は担当 B で(2)の開発を担当した場合を想定した見積工数を示す。

(2) モデル開発をした場合の工数

本研究開発のモデルベース開発手法を採用した場合の開発工数について、算出した。結果を以下に示す。

表 2-8-2 モデル開発をした場合の工数

開発条件	(1) 4 インチ版モデル 開発	(2) 4 インチモデル ベースでの 6 イン チ版開発	(3) 【推定】 6 インチモデルを ベースとした 10 インチ版開発
担当者	A	B	C
メタモデリング (人日)	6	0	0
モデルダイアグラ ム作成 (人日)	5	3	3
コードジェネレー タ作成 (人日)	5	1	1
結合試験 (人日)	3	2	2
合計 (人日)	19	6	6

担当者は、従来技術の場合と同じ A、B タイプの他、C：B と同レベルでの新規技術者を想定した。

(3) モデル開発による効率化まとめ

モデルベース開発 (1) は言わば DSL ツールを開発する工程で、従来手法よりもコストがかかる。ところが (2) については担当者のドメイン知識レベルが高くなくても、(1) で出来あがったモデリング環境=DSL ツールでモデル開発を行えば、コストを抑えることができ、約 5 倍の効率化を図れる事が証明された。

(3) はさらに新規担当でプロダクトバリエーションとして10インチ電子ペーパーパネル対応のファーム開発を行った場合を想定した見積工数で、(1) ⇒ (2) の経緯から(2)と同程度になるものと推定され、大幅な開発効率の向上を図れる事が予想される。

第3章 全体総括

本プロジェクトにおける平成22年度～平成24年度の成果について、表3-1にまとめる。当初設定した目標について、技術的に実現することができた。

表3-1 研究開発成果のまとめ

課題	計画	結果	評価	数値目標
【課題1】電力伝送効率が悪い	出荷・評価ボード開発、共振制御改良、アプリケーション開発	独自の電極配置、形状特性を開発し、評価ボード製作。	○	評価ボード上で、高速探索・追従250ミリ秒以内を達成！！
		共振制御アルゴリズム改良し、評価ボード上で動作確認済。	○	
		入退出管理アプリケーションを開発。	○	
	特許化	回路、電極(ハード)共振制御(ソフト)に関して国内外特許申請(6件)	○	
【課題2】異物が混入すると感電や故障の恐れ	出荷・評価ボードでの近接検知改良による動作停止	近接検知アルゴリズムを改良し、評価開発ボード上で安心・安全に利用できることを確認	○	近接検知&電源制御により、安全動作100%保証！！
【課題3】開発効率が悪い	プラットフォーム開発・評価	MDD開発と従来開発を適用し、本プラットフォームで高効率開発可能な事を確認	○	開発工数を大幅(5倍)削減！！

3-1 共振周波数特性研究

(1) 電極配置・形状による高効率化

3次元電磁界シミュレータおよびプリント基板加工システムを用いて、独自の電極形状、配置を研究開発し、通常電極より高効率かつ設置自由度が高い電極の開発に成功した。

(2) 共鳴方式無線電力伝送システムハード

無線電力伝送システムのハードを試作し、多数のユーザに評価いただき、事業化の布石となった。

3-2 共振制御アルゴリズム開発とファームウェア

(1) 共振制御アルゴリズム

共振制御アルゴリズムをハード試作に搭載し、評価簿ボード上で高速探索・追従 250 ミリ秒以内を実現した。

(2) 共振制御ファームウェア開発

ハード試作を用いて、共振制御ファームウェアの結合試験、総合試験を実施するとともに展示会に出展し、評価を得た。

(3) 電子ペーパー動作システム

製品版ハード試作版の電子ペーパー端末の有用性を検証するために、共鳴方式無線電力伝送機能付電子ペーパー動作システムを開発し、デモ展示を実施した。

(4) 共鳴方式無線電力伝送システム用アプリケーションソフトウェア開発

入室カード機能を具備した来客用名札として利用するデモンストレーションを行うアプリケーションおよび任意のデスクトップ領域のスクリーンキャプチャを行うアプリケーションを開発し、本研究開発の実用性を実証した。

3-3 近接検知・異常検知方式の確立および状態制御方式の確立とファームウェア

(1) 異常検知方式

製品版ハード試作の特性を元に、近接検知アルゴリズムの最適化を行った。

(2) 近接検知、渦電流など異常監視ファームウェア開発

製品版ハード試作の特性を元に、近接検知アルゴリズムの最適化を行った。

3-4 多様な機器に対応できる制御ソフトウェアプラットフォーム

ソフトウェアプラットフォームを実開発へ適用し、大幅に効率をUpできる事を確認した。

3-5 今後の課題と事業化展開

(1) 体制

現在の体制と役割を継続する。平成25年度から、**電子部品製造企業等**にプールしたライセンス付与の事業化を展開する。また、電子ペーパー端末製造・販売およびソリューションビジネスも視野に入れる。

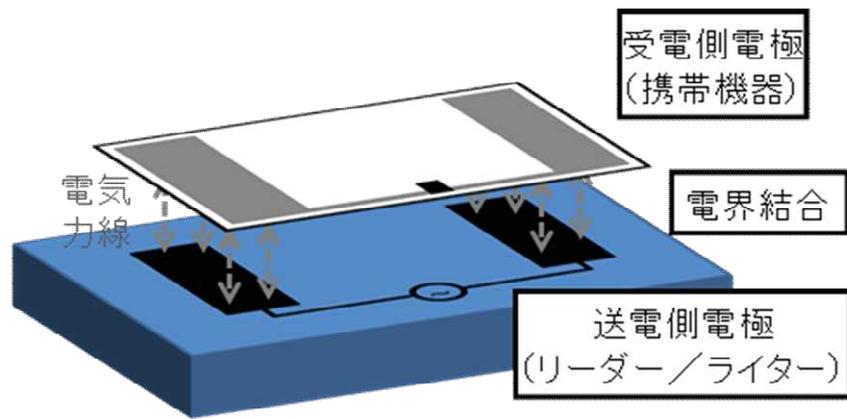
(2) 電界結合方式の優位性と差別化

図3-1に電界結合方式の優位性を示す。図に示したように電界結合方式は、位置ズレに強いので、充電も含めた無線電力伝送市場の事業化もねらうこととする。FA 機器向け電力供給やノートPC充電、EV充電などの分野が考えられている。

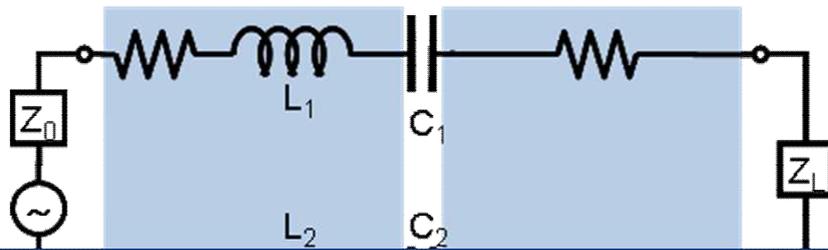
(3) 今後の課題

下記の3課題を早急に解決することとしたい。

- ① 位置自由度をさらに高めて、有用性を拡大する。
- ② 無線電力上へデータを重畳し、応用分野を拡大する。
- ③ 近未来オフィスにおける各種OA機器への同時電力供給を実現する。



電界結合方式は、位置ズレに強い！！



充電も含めた無線電力伝送市場の事業化もねろう！

送電側電極

受電側電極

図 3-1 電界結合方式の優位性