

[依頼講演] 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

庄木 裕樹

(株) 東芝 研究開発センター
〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町 1
E-mail: shoki@csl.rdc.toshiba.co.jp

あらまし 家電機器や電力インフラ機器などの用途にワイヤレスによる電源供給や充電を行う技術に対する注目が高まっている。技術としては、利用シーンにより、電磁誘導方式や共鳴方式、マイクロ波放射方式などの方式を使い分けることが有効であると考えられる。一方で、実用化に必要な電波法など利用環境の整備や人体防護や電磁干渉に対する利用条件の明確化などの課題もある。昨年度組織化されたブロードバンドワイヤレスフォーラムにおいて、このような課題に対する検討を行っており、その取り組みについて紹介する。

キーワード ワイヤレス電力伝送、ブロードバンドワイヤレスフォーラム

Trends of Wireless Power Transmission Technologies and Approaches for Commercialization

Hiroki SHOKI

Corporate Research and Development Center, Toshiba Corporation

1, Komukai-Toshiba-cho, Saiwai-ku, Kawasaki, Kanagawa, 212-8582 Japan

E-mail: shoki@csl.rdc.toshiba.co.jp

Abstract Recently, wireless power transmission technologies give much attention and attraction to engineers for applications to home electric equipments and power infrastructure systems. Electromagnetic induction, near-field magnetic resonance, microwave transmission and other methods can be used for these applications. Many researches and developments are done aggressively for several usages. On the other hand, radio regulations, consideration of electromagnetic field limits for human body and other equipment are important problems for their commercialization. In a working group of Broadband Wireless Forum (BWF), which was established last year, these problems are discussed. In this paper, some approaches to solve these problems are introduced.

Keyword Wireless Power Transmission, Broadband Wireless Forum

1. ワイヤレス電力伝送への期待

近年、無線通信システムの高速化および多様化が進み、それに並行して、様々な機器のモバイル化も進んでいる。このような状況の中、電源供給や充電のため電力のワイヤレス化への期待も益々高まってきている。その期待される利用形態として、例えば、家庭内やオフィス内において、

- ・ ノート PC、ポケット PC、携帯端末、音楽などエンターテイメント携帯機器などを机等の上に置くだけで電源供給や充電
- ・ 家屋の壁に埋め込まれた電源供給装置を用いた TV の完全電源コードレス化
- ・ 冷蔵庫、洗濯機、エアコンなど据え置き型家電機

器や掃除機、ドライヤーなど数百 W を超える電力の家電機器への充電や給電がある。また、屋外や各種産業機器に目を向けると、

- ・ 電気自動車や電車などへの電源供給や充電など電力インフラ機器への適用
- ・ 体内の撮影、体内の腫瘍摘出などをおこなう超小型体内医療機器への無線電力供給
- ・ 電子機器内や IC 内部／近傍での無線の電源供給など適用できる範囲は広く、ワイヤレス電力伝送への期待は非常に大きいと言える（図 1）。ワイヤレス電力伝送の実用化により、社会を変え、一般ユーザに利便性などの点で大きく貢献できると考えられる。

総務省の電波政策懇談会[1]においても、ワイヤレス

電力伝送技術により将来市場に注目し、図2に示すようなロードマップを作成している。更に、2009年12月に公表された原口総務大臣によるICT分野戦略ビジョン[2]において、「コードのいらぬワイヤレスブロードバンド家電の世帯普及率80%の実現(2020年)」ということが明言されている。また、2009年7にはブロードバンドワイヤレスフォーラム[3]が設立され、産官学連携により、ワイヤレス電力伝送の実用化を促進するための組織も出来上がった。

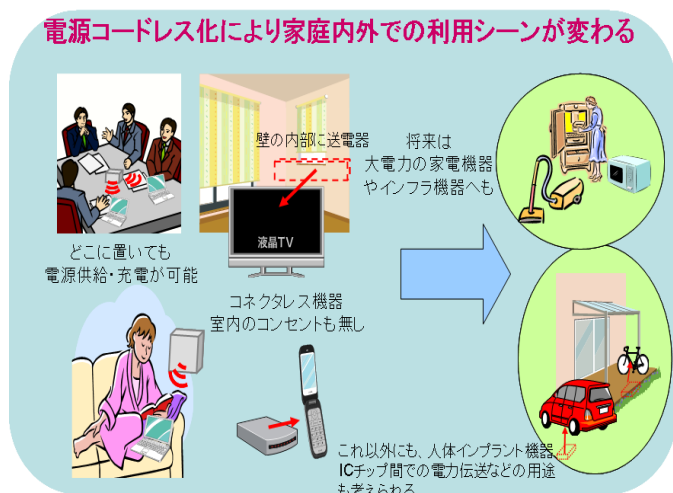


図1 ワイヤレス電力伝送の適用が期待される利用シーン例

2. ワイヤレス電力伝送の方式の比較

ワイヤレス電力伝送を実現するための技術として、以下の方式があげられる。

(a) 電磁誘導方式

図3に示すように、一次側(送電側)コイルと二次側(受電側)コイルの電磁結合により電力伝送を行う方式である。高い効率で電力伝送を行うためには、一般的には、一次側と二次側のコイルの位置を合わせる必要がある。このため、かなり近接した距離において電力伝送を行う用途(非接触型ワイヤレス電力伝送)に考えられていることが多いが、近年では伝送距離を数十cm程度に伸ばすための研究開発も行われている。周波数帯については、数百kHz以下の周波数を用いるケースが多い。

(b) 共鳴方式

(a)の方式の伝送路を等価的に共振回路となるように構成することにより伝送距離を伸ばす方式である。図4の例では、一次側(送電側)コイルと二次側(受電側)コイルの両方に容量素子を直列に装荷し、LC共振となる構成を実現している。コイルは磁界で結合しているため、図4の方式は磁気共鳴方式(または磁場共鳴方式)と呼ばれる。ただし、(a)の電磁誘導方式においてもコイルを共振させて用いること場合があり、

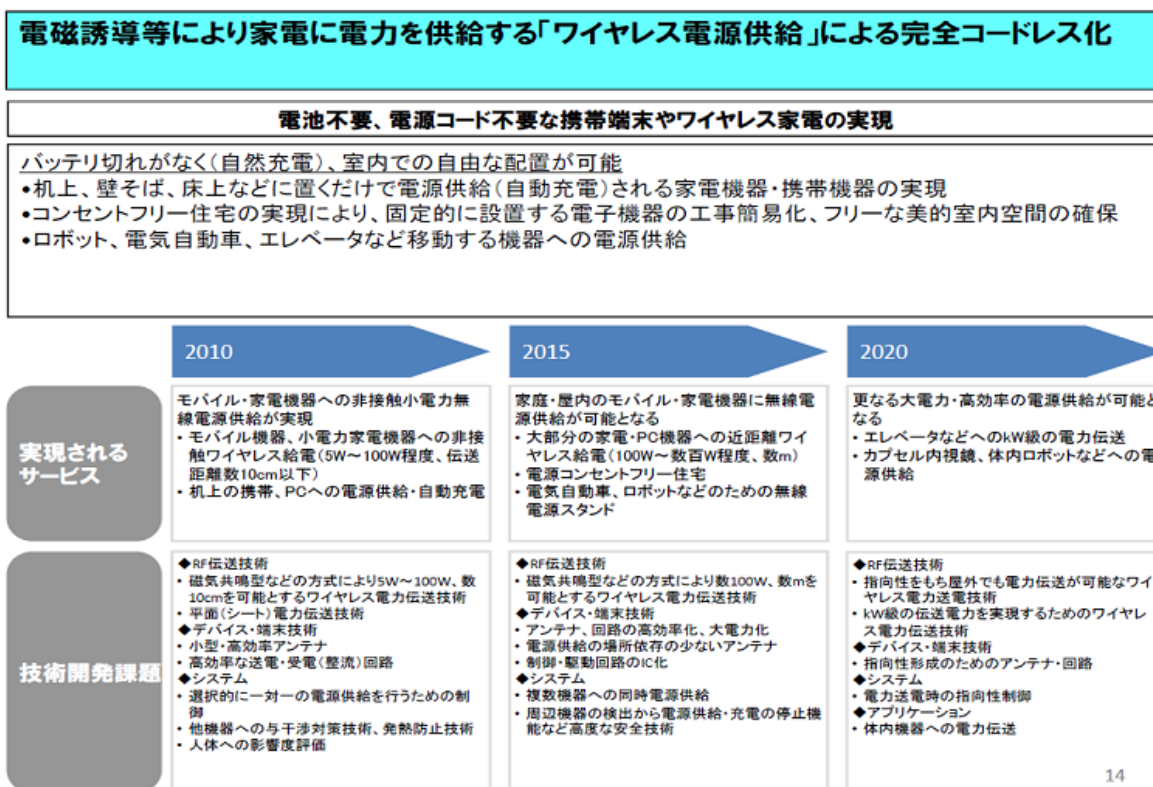


図2 ワイヤレス電力伝送のロードマップ (電波政策懇談会資料[1]より抜粋)

磁気共鳴方式は広義には電磁誘導方式と同じであるとも言える。つまり、電磁誘導方式と磁気共鳴方式の定義や区別には曖昧なところがあるので、語句の取り扱いには注意が必要である（なお、MRI等で利用されている磁気共鳴とは現象が違うので注意が必要）。

磁気共鳴方式とは別に、電界で結合し共鳴させる電界共鳴方式（電場共鳴方式）もある。一般的には、電力を伝送する送受信の両方の面を導体として、そこで電界結合させる（コンデンサーのように動作する）ことにより、直列共振回路を等価的に形成するものである。数 cm 以下の比較的短い距離での電力伝送に用いることが多い。

これら二つの共鳴方式は、(a)の方式に比較して、一般的には効率は落ちる欠点はあるが、伝送距離を伸ばせる利点がある。また、共振器（コイルなど）の位置関係の柔軟性もあり、モバイル機器などへの応用として有効でもある。周波数に関しては、磁気共鳴方式の場合、数十 kHz～数十 MHz を用いるケースが多い。

(c) 電波放射方式

太陽発電衛星からのワイヤレス電力伝送を行う目的などで比較的早くから研究開発が行われており、静止軌道から地上へ向けて数万 km を電力伝送させるような研究も進められている。この技術を家庭内機器への応用することも可能である。その技術は、図 5 に示すように、アンテナで受信した電波を整流するだけで電力を取り出せる特徴がある。伝送距離は大きくできるが、アンテナの大きさなどが制限される一般的な利用形態においては、伝送効率はかなり低い。一方で、送信ビームの指向性の制御などで効率を上げる検討も行われている。周波数は 2.4GHz などマイクロ波帯が用いられていることが多い。

(d) その他

上記(a)～(c)の他に、並行平板の間に電波を閉じ込めて伝送し（並行平板導波路を形成し）、机の上などにおいて電力伝送を行う方式や、電磁波として伝搬しない非放射波（エバネッセント波）を用い近傍領域において電力伝送を行う方式なども考えられている。二次元平面上に置かれた機器への電力供給に有効であり、このような利用シーンの用途での検討が進められている。

上記の(a)～(c)の方式が典型的に用いられているケースを元に、電力伝送距離と送信電力により比較し、分類した図を図 6 にまとめる。特に家庭内機器への応用やエコ（効率）の点から、(a)電磁誘導方式と(b)共鳴方式への期待が大きく、本稿では、「ワイヤレス電力伝送」としてこれら二つの技術により実現できるシステムについて着目する。これら二つの技術の世の中の注目は高く、今後の研究開発の進展により、電磁誘導型は伝送距離を伸張させる方向へ、また共鳴型は送電電

力を大きくする方向へ利用されることが期待される。

電力を送信できる距離	数mm以下
送信できる電力	数百W以下
周波数	数百kHz以下
電力の利用効率	70～90%(残りは主に熱になる)
サイズ	数cm

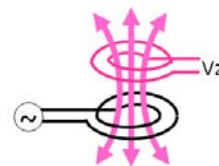


図 3 電磁誘導方式によるワイヤレス電力伝送

電力を送信できる距離	数十cm
送信できる電力	数百W以下
周波数	数～数百MHz帯
電力の利用効率	40～60%(残りは熱(磁場)、電波(電場)になる)
サイズ	数～数十cm



図 4 共鳴方式によるワイヤレス電力伝送

電力を送信できる距離	数m
送信できる電力	数W以下
周波数	中波～マイクロ波
電力の利用効率	かなり低い(残りは電波になる)
サイズ	数cm～数m

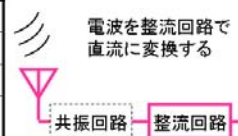
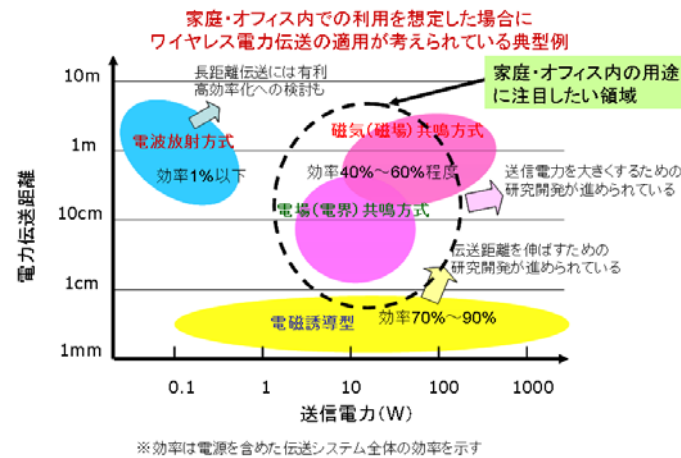


図 5 電波放射方式によるワイヤレス電力伝送



※効率は電源を含めた伝送システム全体の効率を示す

図 6 ワイヤレス電力伝送方式の比較

3. 磁気共鳴方式について

前述のワイヤレス電力伝送方式の中で、家庭内での数 10W 程度までの中電力を数 10cm～数 m の範囲で電力伝送を行う場合、磁気共鳴方式が有効であると考えられる。この方式については、MIT[4],[5]を初め、多くの検討が行われている。

MITでは、図 7 に示すような、共振器（コイル）をループで励振する方式で電力伝送を行っている。コイル直径を 60cm に設定し、10MHz 帯で共振させた場合の、電力伝送効率（送受のコイル間での効率であり、送電系や整流器などの損失は含まない）について解析した結果を図 8 に示す。この結果から、コイル直径の

2 倍程度の距離までは、高い効率での電力伝送が行える可能性があることがわかる。

磁気共鳴方式の利点として、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あげられる。この他にも、アレイ化による位置依存性の解消[6]、中継コイルによる伝送距離伸張[7],[8]など、家庭内などで効果が期待できる利点も多い。

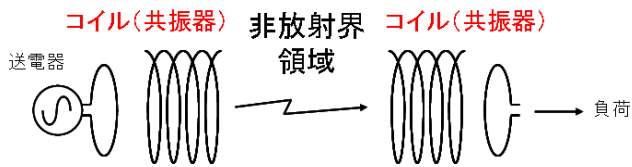


図7 磁気共鳴方式による電力伝送の構成例

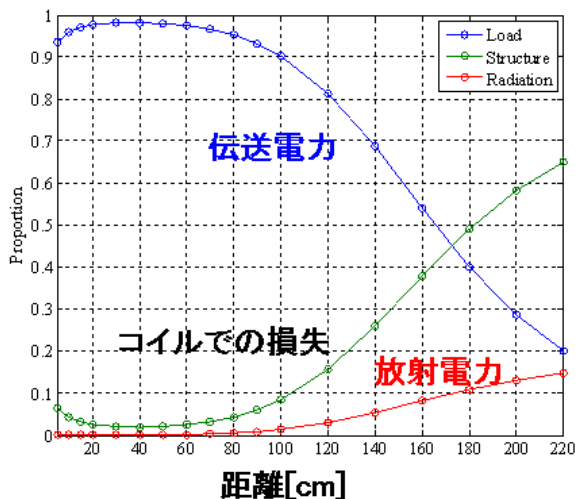


図8 磁気共鳴方式における電力伝送効率と距離の関係

4. 実用化時における課題

図9に、磁気共鳴方式を例に取り、実用化時の簡単な構成例を示す。ここから、以下のような様々な課題があると考えられる。

- ① 高効率な電力伝送技術の開発：電力伝送路における高効率化はエコの観点からも重要な課題である。コイルの他に、送電系や整流回路の高効率化も重要な技術課題である。
- ② 利用環境に依存しないシステム構築：特に共鳴方式では周辺環境の影響により伝送効率が劣化する可能性があり、その劣化を低減するための技術が重要である。
- ③ 実装技術の開発：伝送効率を劣化させないように小型化、薄型化、軽量化することが重要である。
- ④ 安全かつ効率的な制御方式の開発：図9に示すように、電力伝送装置の他に通信および制御を行う機能が必要になると考えられる。送電相手を認証

したり、異常時に送電停止を行ったり、複数の相手に送電を行う方法などが必要になる。

- ⑤ 電波法など法令整備：法令上、どのような枠組みでワイヤレス電力伝送装置が利用できるかを明確にする必要がある。場合によって、無線機としての扱いになる場合には、周波数帯の確保が必要である。
- ⑥ 人体防護：総務省の電波防護指針など人体防護のガイドラインを遵守するための利用条件を明確化する必要がある。そのための測定法・評価法も必要になってくる。
- ⑦ 電磁干渉：他機器への影響があってはならず、そのための条件および測定法などを明確化する必要がある。
- ⑧ 標準規格化：安全に広く一般にワイヤレス電力伝送システムを利用してもらうためには、標準規格化が必要である。

上記課題のうち⑤～⑧については、実用化を考える機関で連携して検討していく必要がある。ブロードバンドワイヤレスフォーラムのワイヤレス電力伝送ワーキンググループでは、共鳴方式以外に電磁誘導方式なども含めた上記のような課題の解決に向けた取り組みを実施している。

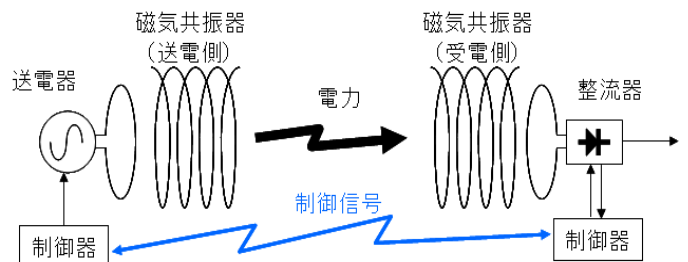


図9 実用時の構成例

5. ブロードバンドワイヤレスフォーラムでの取り組み

ブロードバンドワイヤレスフォーラム[3]のプロジェクト推進分科会において、電波利用により将来の事業化が期待されるテーマについての検討が行われている。2010年度からは、このプロジェクト推進分科会の下に4つのワーキンググループ（WG）が新たに組織化され、その中の一つであるワイヤレス電力伝送WGにおいて、4.であげた課題に対する取り組みを検討している。本章では、その概要について紹介する。

ワイヤレス電力伝送技術は、今後、様々な機器や用途に利用されることが考えられる。その議論をスムーズに行うために、図10に示されるように、送電する電力と伝送距離により、利用シーンを以下の4つにカテゴリ分けした。各利用シーンの具体的な適用例や仕

様・機能は表1に示す通りである。

- (a) 利用シーン1：デジタル家電向け非接触電力伝送
- (b) 利用シーン2：デジタル家電向け無線電力伝送
- (c) 利用シーン3：家電向け中電力無線電力伝送
- (d) 利用シーン4：社会インフラ・産業用向け大電力

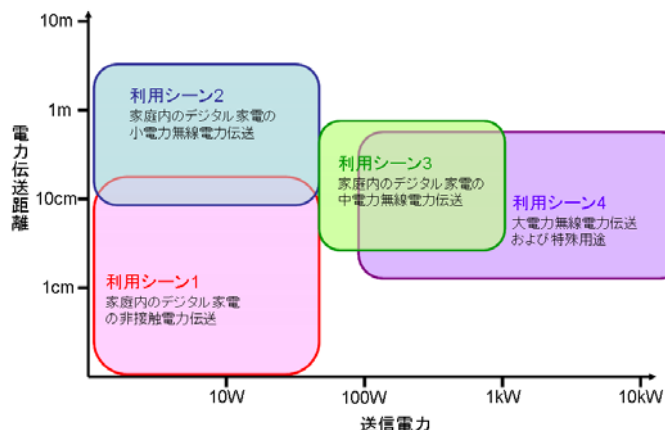


図10 利用シーンのカテゴリー分け

このような利用シーンにカテゴリー分けした上で、以下に示すようなワイヤレス電力伝送を実現するための課題について検討をしていく。

(1) 技術開発の促進、ロードマップの共有化

ワイヤレス電力伝送方式により実用化までの技術の進展度に多少の差はあると考えられるが、どの方式についても、小型・軽量化、高効率化（低消費電力化）、安全に無線電力伝送を行うための仕組みや制御など今後も精力的に研究開発を進めなければならない技術課題は多い。技術開発のロードマップを共有するとともに、実用化を促進するための研究開発を行う。関連して、技術開発に必要なテストベッドの構築や成果の普及広報活動にも貢献していく。

(2) 電波法など利用環境・利用条件の整備

ワイヤレス電力伝送装置が法令上でどのような分類になるかを明確にする必要がある。その仕様や無線通信の有無などにより、高周波利用設備、微弱無線局、免許が必要な無線局などの分類になる可能性がある。その分類を明確化するとともに、ワイヤレス電力伝送を広く一般に利用してもらい、社会に利益を享受するために、法令の整備が有効と判断された場合には、その取り組みを行う。また、特に、免許が必要な無線局の場合には利用可能な周波数帯を確保していく必要があり、この場合には周波数帯の確保に向けた活動を本フォーラムとして行う。

表1 利用シーンの具体的な仕様・機能

利用シーン No.	想定する利用シーン	具体的な適用例	その利用シーンの仕様・機能など
1	家庭内のデジタル家電の非接触電力伝送	①携帯電話 (P2P充電、共通充電、公共充電) ②ノートPC (卓上充電、公共充電)	①周波数: 20kHz~数MHz ②送電電力: ~50W ③送電距離: 数mm~数cm ④効率: 70%以上
2	家庭内・屋外 (情報KIOSKなど)のデジタル家電の小電力無線電力伝送	①携帯電話 ②ノートPC ③壁掛けTV、ポータブルTV ④デジタルカメラ、ビデオカメラ ⑤携帯型プレーヤー ⑥音響機器 (スピーカー、ヘッドホンなど) ⑦照明器具 ⑧産業機器 ⑨医療機器 ⑩ゲーム機器 (リモコン含む) などへのワイヤレス電源供給、無線充電	①周波数: 数100kHz~50MHz ②送電電力: ~50W ③送電距離: 数10cm~数m ④電力伝送効率: 40%以上 (できるだけ高くしたい)
3	家庭内の家電の中電力無線電力伝送	①据置型家電 (冷蔵庫、洗濯機、エアコンなど) ②発熱系家電 (ドライヤー、アイロン、炊飯器、ホットプレートなど) ③掃除機 ④大型TVなどAV家電機器 などへのワイヤレス電源供給、無線充電	①周波数: 10~50MHz ②送電電力: 50~1kW ③送電距離: 壁面・床面・机面から数10cm程度 ④電力伝送効率: 40%以上 (できるだけ高くしたい)
4	大電力無線電力伝送および特殊用途	①電気自動車、トラム (路面電車) などへのワイヤレス電源供給、無線充電 ②工場内機器など産業向け応用	①周波数: 100kHz~10MHz ②送電電力: 数10W~10kW以上 ③送電距離: 30cm程度 ④電力伝送効率: 90%以上
		①非破壊給電システム (FTTH関連など)	①周波数: 数十kHz~数GHz ②送電電力: 数W~20W ③送電距離: 10cm程度 ④電力伝送効率: 40%以上

文 献

(3) 標準規格化活動の推進

家庭内でワイヤレス電力伝送技術を広く利用してもらうためには標準規格化が重要な課題となることは言うまでもない。各々の利用シーンに合った標準規格化を進めていく必要があり、本フォーラムとしてもその活動に何らかの貢献をしていく。

(4) 人体防護指針やイミュニティのための条件作り

ワイヤレス電力伝送システムの実用化のためには、総務省の電波防護指針などの人体防護指針や、電波法に関連する電磁干渉の規定など（電気用品安全法も含む）を遵守することが必須である。しかし、ワイヤレス電力伝送は新しい利用分野であり、これらの指針や規定との明確な関連付けがまだ十分に行われていない。本フォーラムでは、これらの指針や規定を満足するための条件を明確化していく。また、関連する測定法や評価法についての議論も行う。

上記の課題を解決し、実用化に向けて図 11 に示すようなロードマップを描いて活動を続けていく。

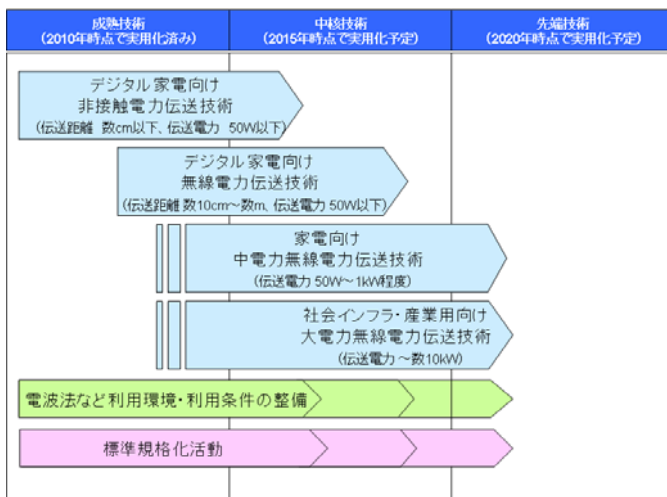


図 11 実用化までのロードマップ

6. むすび

ワイヤレス電力伝送技術への期待が国内外で高まっている状況であり、その流れにうまく乗って研究開発を促進できればと考える。法令上の問題などについては、実用化に向けた技術開発のタイミングとうまく整合できるよう課題解決や利用条件の整備などをしていくことが必要である。ブロードバンドワイヤレスフォーラムの活動を通じて、そのような課題に取り組んでいきたい。

- [1] 「電波新産業創出戦略 ～電波政策懇談会報告書～」, 総務省,
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/02kiban09_090713_1.html, 2009年7月.
- [2] 「原口ビジョン」, 総務省,
http://www.soumu.go.jp/main_content/000048728.pdf, 2009年12月.
- [3] ブロードバンドワイヤレスフォーラム,
<http://www.yrp.co.jp/yrprdc/forum-bwf/index.html>
- [4] A. Kurs et al., “Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances”, Science, Vol.317, No.5834, pp.84-86, 6 July, 2007.
- [5] M. Soljacic et al., “電力を無線伝送する技術を開発 実験で 60W 電球を点灯”, 日経エレクトロニクス, 2007年12月3日号, pp.117-128.
- [6] 工藤他, “磁気共鳴型無線電力伝送における送電コイルアレイ”, 電子情報通信学会, 2010年総合大会, B-1-30, 2010年3月.
- [7] 柏木他, “第3のコイルを用いた磁気共鳴型無線電力伝送の効率改善”, 電子情報通信学会, 2010年総合大会, B-1-31, 2010年3月.
- [8] 橋口他, “磁界共鳴型ワイヤレス給電用中継デバイスの開発”, 電子情報通信学会, 2010年総合大会, B-1-25, 2010年3月.